

苏里格西区智能化泡沫排水采气工艺 技术研究与应用



叶海峰*, 谭荃

中国石油川庆钻探工程公司地质勘探开发研究院, 四川成都 610051

摘要: 苏里格西区普遍含水, 气水关系复杂, “甜点”存“点团状”零星分布, 富集范围小, 规模上产稳产风险大, 以气水同层为主, 纯气层零星分布, 结合“三低”气藏的性质, 导致了富水区储量动用率低。新型智能化泡排水采气工艺弥补了人工泡排现场作业的短板, 不受气候、交通等干扰因素影响, 加药周期更合理, 助排效率高, 能实现气井精细化管理, 也解决了苏里格西区富水区产量低生产不稳定的难题。以苏里格西区苏 A 区块为例, 对该区块单井实施智能化泡沫排水采气的工艺设备、技术特点、应用效果及效益进行了分析, 验证了该项工艺对于苏里格西区的高效开发能够提高新的思路和方法。

关键词: 苏里格西区富水气藏; 智能注剂; 泡沫排水采气

DOI: [10.57237/j.se.2024.02.002](https://doi.org/10.57237/j.se.2024.02.002)

Research and Application of Intelligent Foam Drainage and Gas Recovery Technology in Sulige West Area

Ye Haifeng*, Tan Quan

Research Institute of Geological Exploration and Development, CNPC Chuanqing Drilling Engineering Co., Ltd., Chengdu 610051, China

Abstract: Sulige west area generally contains water, the relationship between gas and water is complex, the "dessert" is sporadically distributed in a "point cluster" shape, the enrichment range is small, and the risk of stable production on a large scale is large. It is mainly the same layer of gas and water, and the pure gas layer is sporadically distributed. Combined with the nature of the "three low" gas reservoir, the reserve utilization rate in the water rich area is low. The new intelligent bubble drainage gas production process makes up for the shortcomings of artificial bubble drainage on-site operation, is not affected by climate, traffic and other interference factors, has a more reasonable dosing cycle and high drainage efficiency, can realize the fine management of gas wells, and also solves the problem of low production and unstable production in the water rich area of sulige west district. Taking Su 59 block in Sulige west area as an example, the process equipment, technical characteristics, application effects and benefits of intelligent foam drainage and gas recovery in the block are analyzed, and the new idea and method for the efficient development of Sulige west area are verified.

Keywords: Sulige West Water Rich Gas Reservoir; Intelligent Injection Equipment; Foam Drainage Gas Production

*通信作者: 叶海峰, yehaif_dy@cnpc.com.cn

收稿日期: 2023-12-13; 接受日期: 2024-03-08; 在线出版日期: 2024-03-18

<http://www.sciadeng.com>

1 引言

苏 A 区块位于苏里格气田西部，区块大面积含水，投产井 90%以上气水同产，水气比达 $4.0\text{m}^3/10^4\text{m}^3$ ，气水关系复杂，稳产条件差。

苏 A 区块从 2009 年投产以来，立足于区块实际，对相关排水采气工艺技术进行了持续攻关研究、试验，形成了坚实的技术积淀，为促进区块稳产、提高区块开发效果做出了重要支撑。苏 A 区块气水关系复杂，井间砂体叠置连片，砂体分布较孤立，横向连通性差，储层非均质性强，气水同层特征明显，含水饱和度高，气井见水时间早，影响气井生产，且存在相对构造低点的井产水少，相对构造高点井水量大的情况，局部构造对气水分布的影响规律不明确区内大面积含水，纵向上地层水主要分布在盒 7、盒 8 底砂岩中，山 1 段砂体中也有水体分布，气水同层特征明显，投产井中气水同产井比例达到 90%以上。导致工艺实施难度大有以下 3 种因素：(1)产层压力低；(2)渗透率低；(3)气产量低[1-8]。

苏 A 区块自 2009 年投产后开始了排水采气的跟踪试验，在泡排、气举等常规技术的发展基础上，2011 开始了集成配套技术的研究与试验，形成了多项具有针对性的特色技术，并成功应用于现场生产，极大的缓解了区块产量递减，为促进区块稳产、提高区块开发效果做出了重要支撑。其中，随着泡排施工规模的逐步扩大，现有人工注剂模式难以满足现场需求，其难点在于：一、自动注剂设备易冻堵仍是制约增产效果的绊脚石，设备抗冻水平仍需提高。保持泡排施工的连续性很重要。部分井带液能力较差，在泡排辅助下可实现平稳带液，而一旦泡排措施中断，则会出现反复积液。泡排措施期间生产带液平稳，套压平稳下降，即使压缩机停机导致输压上涨，气井仍然保持平稳。而 10 月开始受天气影响，自动注剂装置运行不稳定，气井套压随后出现缓慢上涨，产量下降；低压井积液风险大，需高频率维护。苏 B 区块持续实施泡排辅助带液，保持了较长时间的平稳生产。但这部分井目前套压已降至 $2\sim3\text{MPa}$ ，部分气井因压力较低，基本平输压，从而带液能力较差，需要持续的较高频率的泡排维护。因此亟需使用在冬季运行时率较高的自动注剂装置来保证泡排施工的连续性以及低压井的高频次加注维护。二、目前工艺适应性分析不到位，存在误判选井。工艺措施适应性分析作为工艺选型的基础，

准确判断单井工艺适用性将起到事半功倍的效果，针对自动注剂工艺适应性进行调研总结，及时排除不适宜类型，但仍存在分析不到位的情况：(1)对于油管下得太浅的气水井作为自动注剂备选井；(2)对于气井油套管互不连通或油管串不严密的气水井作为自动注剂备选井。三、措施介入时机存在滞后，错过最佳排采良机。目前工艺措施选井定井制度需要层层上报并开会讨论确定，单井液面监测数据更新不及时，将导致措施介入时机存在滞后，错过最佳排采良机，影响自动注剂增产效果。四、制剂制度优化程度不够，影响措施效果。通过查看制剂制度调整记录，制度调整流程不够完善，优化效果不理想。参数优化主要涉及到加注时机、加药量、稀释比例、加注周期。工艺实施时机过早，会增加施工成本，实施过晚，会影响工艺排水效果；加药量过小，会影响排水效果，加药量过大，会给气井生产造成负担，浪费地层能量；加注周期过小，会增加工艺成本，过大会影响实施效果。气井井况不同，工艺参数也不尽相同，如何选择合理的工艺参数是需要解决的问题。因此，准确把握加药时机，优化加药量、并选择合适的加药周期和工艺方式，是提高自动注剂效果的关键技术。

通过研制智能化泡排装置弥补了人工泡排不足，其智能化泡排的特点包括：(1)环境适应性强：实现了在野外环境的全天候运行。具备保温智能加温功能和智能防冻冲管功能，解决了冬季加药问题；(2)极高的性价比和费效比：一机多井（多通道加注），一机多用（同时满足起泡、消泡、甲醇加注）。用于丛式井组可大幅度的降低了购置成本、运维成本和加药作业效率。(3)灵活的管控应用平台：固定终端可查看。多级密码管理，权限不同，浏览内容不同，责任人可实时掌握装置的工作状态，过程实时记录，历史可追溯[9-15]。

通过智能注剂装置实现无人值守情况下自动运行和远程控制，降低注剂成本和工作强度，提高注剂安全性，实现油气田数字化、智能化管理的目的。

2 装置简介

智能注剂装置主要应用于气井注泡排剂（气温 $\leq 0^\circ\text{C}$ 时，注入泡排剂时需防冻型）和冬季输气管线注甲醇。通过气井套管内加注泡排剂，与井内水相溶起

泡, 由天然气携带排出, 实现气井排水采气的目的; 冬季通过向输气管线连续或间歇性注入甲醇液, 防止由于气温较低使输气管生成水合物导致输气管道冻堵。

优化注剂设备设施性能, 提高全天候运行能力自动注剂设备设施性能的优化。主要措施有: 一、设备光源追踪系统改进优化。目前太阳能板安装位置固定, 太阳能板始终面对同一朝向, 能量利用率低。研制光源追踪系统, 在太阳能板下放置光源感应器及转向轮, 使光伏板能实时感应光源位置, 并及时转向, 保证光伏板对准太阳方向。二、光伏系统优化改进。由于目前井场配套条件差, 无外接电源, 因此目前采用自动注剂装置多为太阳能供电系统, 太阳能光伏面板将光能转换成电能储存在蓄电池内, 逆变器将储存在蓄电池内的 48V 直流电转变成 380V 交流电, 为注剂泵电机提供动力, 当控制系统发出指令时, 动力部分继电器吸合, 电机驱动注剂泵将药剂箱内起泡剂溶液注入气井油套环空, 从而实现液体泡排剂自动加注的目的。除药剂加注外, 太阳能还需实现控制系统、保温系统能量供给。然而目前冬季极端低温条件下, 装置保温系统所需能量大幅增加, 而现有装置所能提供的电能在冬季无法完全满足系统能耗, 保温系统运行效率低。因此, 从冬季运行所需能耗进行优化设计, 考虑增加冬季供能, 保障系统冬季用电。三、保温系统优化改进。保温系统优化: 采取保温柜一体化设计、电伴热等措施对加药装置进行优化改进。整体设备采用多层保温, 设备机架为第一层保温, 中间夹层为发泡聚氨酯填充, 内部管线与泵头为第二层保温, 采用保温棉缠绕, 并用电伴热缠绕内壁, 药剂箱为第三层保温, 中间夹层填充物为发泡聚氨酯材料, 内壁缠绕不锈钢发热管, 当液体温度降到 0℃ 时, 电伴热自动加热, 当加热到 3℃ 电伴热自动停止加热。保温系统运行模式优化: 保温运行模式即冬季模式, 主要在每年 11 月~次年 3 月运行, 其余时间不启用。装置保温主要依靠加热伴热线保证装置内温度, 保温模式分为间歇式加热、温控式加热、强制性加热三种模式可供选择。四、加药流程优化改进。在井场预定位置安装一套多井智能加药装置, 首先将药品添加到药箱中, 在油气物联网控制平台上设定加药量, 并将指令通过移动数据发送到加药装置, 加药装置接受指令后, 自动修改加药装置内的 RTU 加药量设置, RTU 根据设置的加药量及泵排量, 计算出对应井的加注时间, 并控制加药泵的开启和关闭, 同时控制多井选通阀岛上的电磁阀依次接通, 药品则顺加药管路进入气套环空, 同时 RTU 摸

块将采集到的加药记录和剩余液位数据通过移动数据远传到油气物联网平台, 从而实现丛式气井自控加药装置数据的采集, 监测和控制。五、加注系统优化。泡排剂加注采用电动高压柱塞泵机注方式, 特制防腐三柱塞陶瓷泵, 最大输出压力 25MPa, 排量 0~4L/分钟排量可调。工作方式是: 由控制器控制选通阀对所接井轮巡加注, 每口井的加注量、加注周期、开始时间可远程设定。

摸索智能注剂工艺最佳制度, 提高措施增产效果。自动注剂制度的确定, 能够有效提高不同单井的排采效果, 制定“一井一策”实施方案。主要措施有: 一、寻找泡排剂加注最佳时机。根据气井生产数据, 将计算得到的气井临界流量 $Q_{\text{临}}$ 与气井实际产气量 $Q_{\text{实}}$ 进行对比。若 $Q_{\text{实}} > Q_{\text{临}}$, 则判定气井不存在积液; 若 $Q_{\text{实}} < Q_{\text{临}}$, 则判定气井存在积液。在判定气井存在积液时, 为泡排剂加注时机。二、尝试设定泡排剂加注周期。理论上, 气井积液泡排剂加注周期越短越好; 可以预先设定泡排剂加注周期为 T 天, 之后可根据现场试验井及气井排液情况重新设定泡排剂加注周期。三、精确计算泡排剂加注量。当控制器判定气井积液时, 通过气井积液算法计算得出井筒内的总积液量, 通过注剂量计算方法可计算得出泡排剂预计加注量, 根据泡排剂预计加注量及加注周期计算得出泡排剂每小时预计加注量。

研制智能加注控制系统, 提高运行效率。提高自动注剂运行效率, 减少人工投入是关键, 研制智能化加注控制系统是最佳解决方法。其具体流程如下: 根据改变泵驱动电机转速而调节泵冲程的原理, 可通过控制器调节驱动电机转速而达到调节柱塞计量泵输出流量的目的。控制器发送指令打开电磁阀、启动驱动电机, 柱塞计量泵开始加注泡排剂。驱动电机启动开始调速, 使电机实际转速达到电机预定转速, 并按照此转速连续加注泡排剂。数据采集模块实时采集柱塞计量泵实际加注泡排剂流量 $Q_{\text{泵}}$, 当 $Q_{\text{泵}} \neq Q_{\text{注}}$ 时, 则柱塞计量泵泡排剂实际加注量未达到控制器预计泡排剂加注量, 继续加注泡排剂; 当 $Q_{\text{泵}} = Q_{\text{注}}$ 时, 则柱塞计量泵泡排剂实际加注量达到控制器预计加注量, 控制器发送指令停止驱动电机、停止柱塞计量泵、关闭电磁阀, 结束加注泡排剂。按照控制流程加注泡排剂一个周期后, 气井逐渐排出积液, 并监测气井积液状态。

2.1 装置组成及流程

本装置主要太阳能板组件、蓄电池、药剂箱、增

压泵、控制箱五大部分组成。自动注剂装置主体为一
体化集成模式。包含：箱体（含药剂箱）、注剂泵、液
位传感器、压力传感器、控制箱、逆变器、电源模块、
充电模块等。充分考虑到沙漠地区特殊性，采用箱体

密封构造，将各部分元器件统一集成在箱体内部，有
效防止沙尘、雨水、大风等自然因素对装置的破坏，
同时兼顾防盗性能。

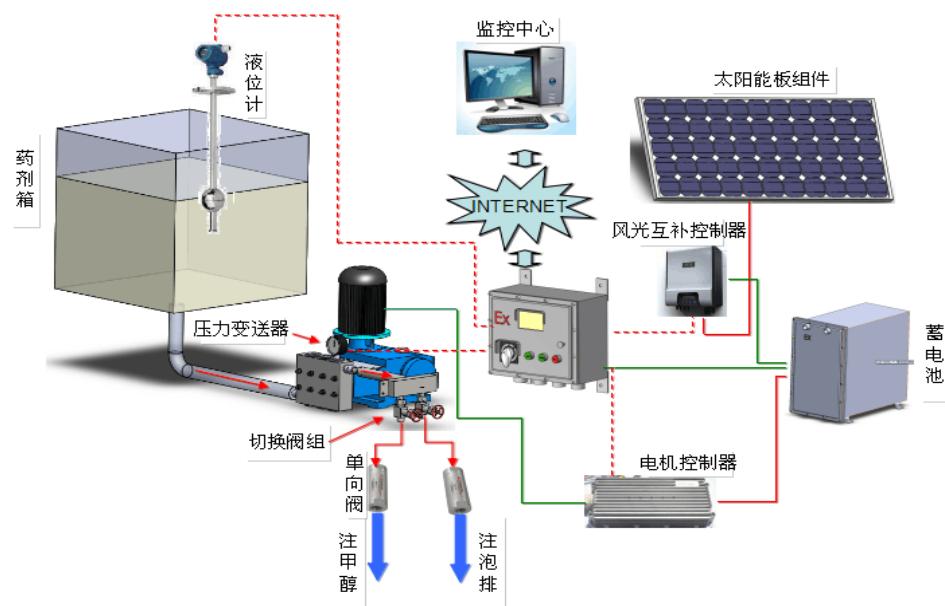


图 1 自动注剂装置构成图

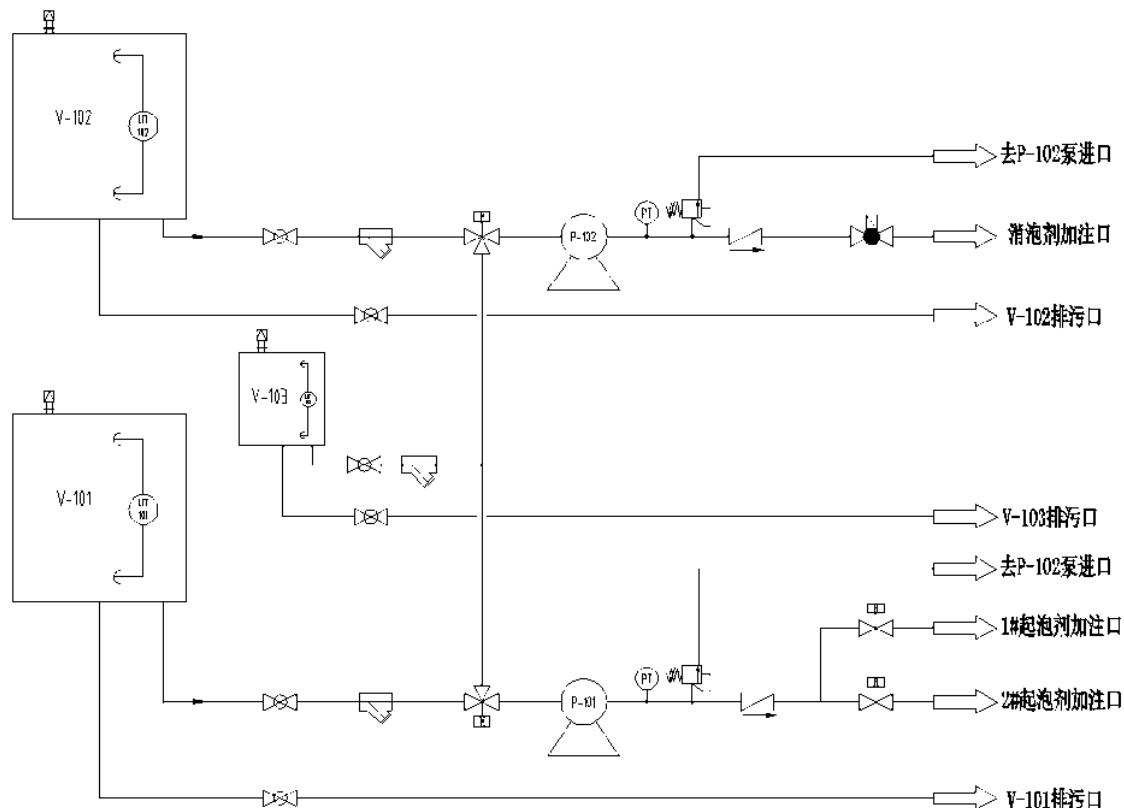


图 2 工艺流程图

2.2 实施方法

2.2.1 选井标准

自动注剂装置通过注入管线与采气树套管表补心考克处进行连接，通过管线连接套管表补心考克进行泡排剂注入。为增强安全系数，选择压力相对较低的气井进行安装，气井套压最高不超 20MPa。为体现自动注剂优势，建议选择产液量相对较大、人工泡排相对较密集气井为佳。由于自动注剂可实现连续、多次注剂，建议选择地层产液不规律、生产由于积液原因不稳定、套压波动较大的间开或连续生产井进行试验。

智能注剂井选井原则：(1)适用于弱喷、及间歇喷产水井的排水，一般产水量不超过 50 方/天。(2)气井具有一定的自喷能力，因地层压力降低、产气量下降、产水量增加等原因造成的积液。

2.2.2 智能注剂工艺制度

气井井况不同，泡沫排水采气工艺参数也不尽相同，如何选择合理的工艺参数成为延长气田迫切需要解决的问题。泡排工艺参数优化主要涉及到加注时机、加药量、稀释比例、加注周期。工艺实施时机过早，会增加施工成本，实施过晚，会影响工艺排水效果；加药量过小，会影响排水效果，加药量过大，会给气井生产造成负担，浪费地层能量；加注周期过小，会增加工艺成本，过大影响实施效果。因此，准确把握加药时机，优化加药量、并选择合适的加药周期和

工艺方式，是提高泡沫排水采气效果的关键技术。

(1)最佳加注时机

通常作法为：在气井积液时，表现为油压下降、套压上升，油套压差逐渐增大，当油套压差逐渐增大时，气井采气曲线上日产气量和日产水量均加速递减，此时为合适的加药时机。

(2)最优加注量及稀释比例

泡排剂注入参数包括加注量和稀释比例，稀释比例须通过泡排剂室内实验数据确定，而合理加注量的基础是气井井筒积液量的计算，如果不能掌握井筒积液量的大小，泡排剂加注量则不可避免带有盲目性。分为以下 4 个步骤：1)井筒积液量的计算；2)确定泡排剂加注浓度；3)确定泡排剂稀释比例；4)确定加注周期。

总体来说，自动泡排加注参数将根据安装完成设备后，根据该井当时的生产数据来确定，并根据泡排效果来适时调整已达到最优效果。

3 工艺效果分析

3.1 整体效果

从 8 口试验井的生产情况来看。苏 A-20-X 和桃 C-7-XB 井产量上涨明显，证明其自动注剂工艺效果优于人工注剂。苏 B-16-X1 和苏 B-16-10X2 等井产量变化不大，而剩余气井的生产特征呈现出工艺效果不佳，其产量不增反降。总体来看，各试验井对自动注剂工艺效果的适应性差别较大。

表 1 自动注剂效果情况

序号	井号	生产阶段			人工注剂转智能注剂 产气量变化 ($10^4\text{m}^3/\text{d}$)	效果情况
		自喷生产	人工泡排	智能注剂		
		产气量 ($10^4\text{m}^3/\text{d}$)	产气量 ($10^4\text{m}^3/\text{d}$)	产气量 ($10^4\text{m}^3/\text{d}$)		
1	苏 A-20-X	0.27	0.41	0.66	0.25	更好
2	苏 B-16-X	0.51	0.49	0.49	0	持续
3	苏 B-16-X	0.11	0.49	0.47	-0.02	变差
4	苏 B-16-X1	0.29	0.34	0.37	0.03	持续
5	苏 B-16-X2	0.33	0.54	0.41	-0.13	变差
6	苏 B-3-XH	0.83	1.58	1.42	-0.16	变差
7	桃 C-7-XB	0.30	0.42	0.57	0.15	更好
8	桃 C-15-X	0.41	0.60	0.63	0.03	持续

3.2 典型井分析

苏 A-20-X 该井从 2020 年 5 月 22 日开始运行自动注剂装置，截止 10 月 7 日，累计增产天然气 33.34 万方，日均增气 0.24 万方。

表 2 智能注剂效果对比情况

井号	生产阶段			人工注剂转智能注剂后 产气量增加量 ($10^4\text{m}^3/\text{d}$)
	自喷生产	人工泡排	智能注剂	
	日均产气量 ($10^4\text{m}^3/\text{d}$)	日均产气量 ($10^4\text{m}^3/\text{d}$)	日均产气量 ($10^4\text{m}^3/\text{d}$)	
苏 A-20-X	0.27	0.41	0.66	0.25

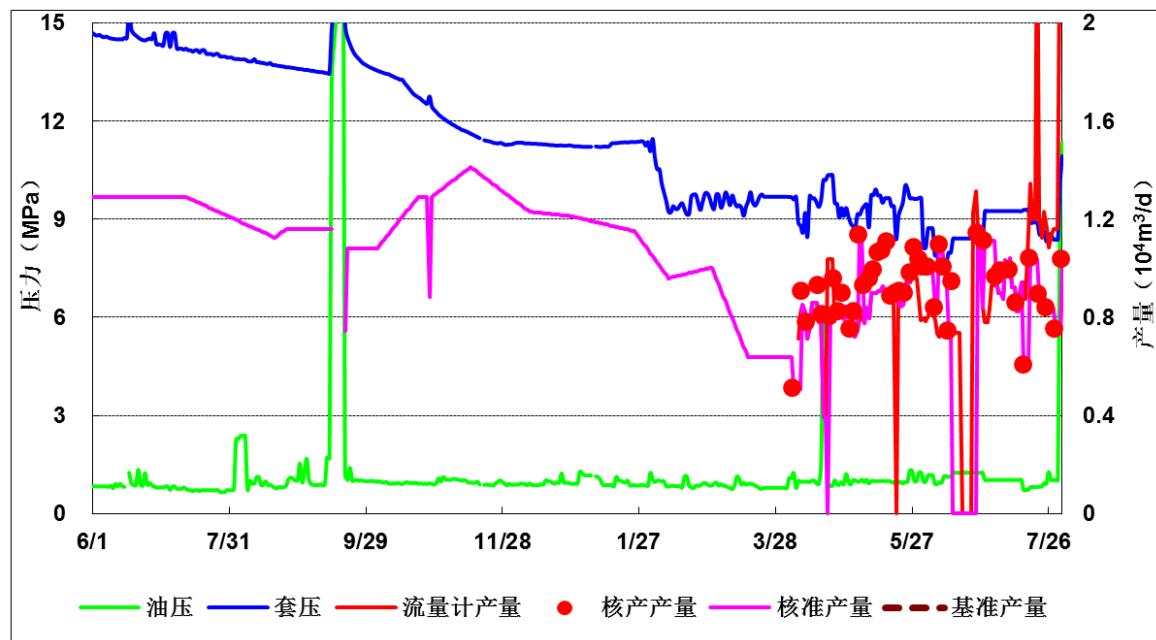


图 3 苏 A-20-X 自动注剂井生产曲线

表 3 苏 A-20-X 智能注剂制度调整

序号	井号	单次运行时间 (min)	混合液加量 (L/次)	周期 (次/天)	混合液加量 (L/天)	日均气量 (万方/天)	时间段
1	苏 A-20-X	11	18	3	55	0.58	5.22-8.26
2	苏 A-20-X	4	7	3	20	0.35	8.27-8.28
3	苏 A-20-X	6	10	3	30	0.28	8.29-9.2
4	苏 A-20-X	10	17	3	50	0.22	9.3-9.6
5	苏 A-20-X	15	25	3	75	0.61	9.7-10.7

通过建立单井跟踪曲线，动态分析气井压力、产量瞬时数据，及时调整自动加注制度，最终形成了产量稳定的智能注剂制度。

配套技术已经成熟，能够有效实施气井泡沫排水数字化管理，具有巨大的社会和经济效益，有着广阔的应用前景。

4 结论

- (1) 研发的自动投棒装置和智能注剂装置，设备性能稳定，自动化程度高，实现了泡排剂远程控制自动定量加注。
- (2) 气井泡沫排水数字配套技术，有效降低了员工劳动强度及生产运行成本，提高了生产效率，为泡沫排水采气的推广应用提供了技术支撑。
- (3) 通过室内研究和现场应用，气井泡沫排水数字

参考文献

- [1] 李士伦. 天然气工程 [M]. 2 版. 北京: 石油工业出版社, 2008: 225-226.
- [2] 甘振维. 理论创新和技术进步支撑引领百亿气田建设 [J]. 天然气工业, 2016, 36(12): 1-9.
- [3] 文昌玉, 虞建华, 燕自峰, 等. 泡沫排水采气技术在塔里木油田的应用 [J]. 石油钻采工艺, 2007, 29(4): 100-101.

- [4] 李安建, 王京舰, 李建奇. 泡沫排水采气工艺技术在苏里格气田的应用 [J]. 内蒙古石油化工, 2008, (23): 72-74.
- [5] 赵立虎, 宋道杰, 何广智, 等. 螺杆泵排水采气杆柱强度设计方法研究 [J]. 石油矿场机械, 2009, 38(8): 88-91.
- [6] 梁政, 邓雄, 吕治忠, 等. 泡沫排水采气消泡效果监测系统方案设计 [J]. 石油矿场机械, 2009, 38(8): 17-20.
- [7] 张文洪, 马强. 泡沫排水采气工艺在大牛地气田的试验效果分析 [J]. 油气井测试, 2005, 14(4): 42-44.
- [8] 王大勋, 徐春碧. 含水气井泡沫排水采气工艺设计 [J]. 重庆石油高等专科学校学报, 2004, (6): 24-26.
- [9] 刘扬, 狄连成. 油井加药装置的研制与应用 [J]. 石油矿场机械, 1999, 28(3): 1-3.
- [10] 陈普信, 刘三威, 等. 油井连续自滴加药装置的研究与应用 [J]. 石油矿场机械, 2001, 30(6): 49-50.
- [11] 蔡广新, 杜卫华, 田晓霞. 螺旋半强制式投球机自动输球控制装置设计 [J]. 石油矿场机械, 2002, 31(5): 65-66.
- [12] 张荣兰, 孟祥春, 罗兴仁, 等. 油井无动力恒流加药罐 [J]. 石油矿场机械, 2000, 29(6): 21-22.
- [13] 许春宝, 向鹏, 余娟. 川西气田水平井排水采气技术及应用 [J]. 新疆石油天然气, 2013, 9(2): 66-69.
- [14] 唐勇. 新场气田水平井排水采气工艺研究及应用 [J]. 内蒙古石油化工, 2015(16): 150-152.
- [15] 张百灵, 周静. 新场致密砂岩气藏泡沫排水采气技术应用优化 [J]. 天然气工业, 2003, 22(3): 126-129.