◀油气田开发工程▶

深层煤岩气双管射流泵全流程带压排采管柱研制与应用*

吴建军[1,2] 王玉斌[1,2] 马文涛[1,2] 刘印华[1,2] 尹德财[1,2] 马 召[3] 闫永维[4]
（1. 中石油煤层气有限责任公司工程技术研究院 2. 中联煤层气国家工程研究中心有限责任公司 3. 中石油煤层气有限责任公司临汾采气管理区 4. 大港油田石油工程研究院钻采技术开发有限公司）

吴建军，王玉斌，马文涛，等. 深层煤岩气双管射流泵全流程带压排采管柱研制与应用［J］. 石油机械，2025，53（10）：132-138.

Wu Jianjun，Wang Yubin，Ma Wentao，et al. Development and application of dual-tubing jet pump full-process pressure-maintained drainage string in deep coal-rock gas wells［J］. China Petroleum Machinery，2025，53（10）：132-138.

摘要：深层煤岩气对井筒内压力敏感，实施压井作业会对煤岩产气造成影响。为此，提出了深层煤岩气双管射流泵全流程带压作业工艺方法，并配套研制了全流程带压作业管柱及关键工具，分析了全流程带压作业管柱结构和各个流程的工作原理。双管射流泵管柱采用液力打捞器带压投捞底阀作业，确保射流泵在起泵芯、试压等作业中不影响液力开关阀的开关状态，能够实现下管柱、试压、自喷、排采起下泵芯及起管柱全流程带压切换。开展了液力开关阀升级改进和室内试验研究，使液力开关阀具备底部进液可悬挂气锚和参数现场可调节的功能。该工艺在吉县大宁区块X1井进行了现场应用。现场应用结果表明，该工艺管柱满足深层煤岩气井35 MPa下全流程带压作业，液力开关阀可根据管柱不同流程开启或关闭。所得结论对深层煤岩气的高效排采具有指导意义。

关键词：深层煤岩气；双管射流泵；带压作业；液力开关阀；可捞底阀；液力打捞
中图分类号：TE934 **文献标识码：**A DOI：10.12473/CPM.202408088

Development and Application of Dual-Tubing Jet Pump Full-Process Pressure-Maintained Drainage String in Deep Coal-Rock Gas Wells

Wu Jianjun[1,2] Wang Yubin[1,2] Ma Wentao[1,2] Liu Yinhua[1,2] Yin Decai[1,2] Ma Zhao[3] Yan Yongwei[4]
（1. *Engineering Technology Research Institute of PetroChina Coalbed Methane Company Limited*；2. *China United Coalbed Methane National Engineering Research Center Co.，Ltd.*；3. *Linfen Gas Production Management Area，PetroChina Coalbed Methane Company Limited*；4. *Drilling and Production Technology Development Co.，Ltd.，Petroleum Engineering Research Institute，PetroChina Dagang Oilfield Company*）

Abstract：Deep coal-rock gas reservoir is sensitive to downhole pressure variation，and implementing kill operation may cause damage to gas production. Consequently，a full-process pressure-maintained operation technique of dual-tubing jet pump for deep coal-rock gas reservoirs was proposed. Meanwhile，supporting full-process pressure-maintained operation string and key tools were developed. Furthermore，the full-process pressure-maintained operation string structure and the operating principle of each process were analyzed. The dual-tubing

* 基金项目：中国石油天然气股份有限公司攻关性应用性科技项目“深地煤岩气成藏理论与效益开发技术研究”（2023ZZ18）；中石油煤层气有限责任公司科技项目“深层煤岩气同心管水力射流泵排采系统优化工艺研究”（2023-GCYKJ-02）。

jet pump string utilizes a hydraulic fisher to perform pressurized bottom valve deployment/retrieval. This ensures the jet pump operations (including pump core retrieval, pressure test, etc.) do not affect the switching state of the hydraulic flow switch, and can realize the full-process pressurized switching from running string, pressure test, flowing, pump core running/retrieval for deliquification to string retrieval. Moreover, upgrade improvements and experimental study were conducted on the hydraulic switch, enabling it to feature a bottom inlet for gas anchor suspension and field parameter adjustment. Finally, this technology was applied at Well X1 in the Daning-Jixian Block. The field application results show that the process string meets the requirements for full-process pressure-maintained operation below 35 MPa in deep coal-rock gas wells, and the hydraulic switch can be triggered to open/close according to different processes. The study conclusions have guiding significance for the efficient deliquification of deep coal-rock gas wells.

Keywords: deep coal-rock gas; dual-tubing jet pump; pressure-maintained operation; hydraulic switch valve; fishable bottom valve; hydraulic fishing

0　引　言

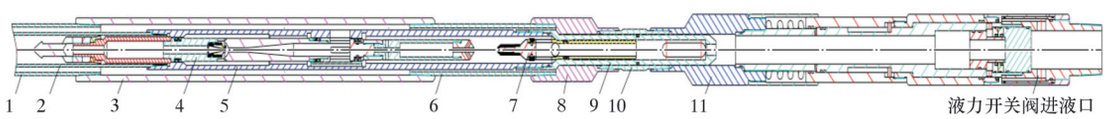
深层煤岩气对井筒内压力较为敏感。根据深煤岩等温吸附曲线[1]，煤岩压力越小，同等降压幅度下解吸出的气量越多。排采需要最大限度降低井底压力，地层压力降至2 MPa，解吸出的总气量为 12.9 m^3/t，占总含气量的 51.97%；压力由 2 MPa 降至 1 MPa，可增加解吸气量为总含气量的 17.5%。由此可见，管柱起下作业过程实施压井作业会对煤岩产气造成明显影响。

刘印华等[2-3]指出水力射流泵工艺在煤层气井中具有更长的排采周期，但射流泵排采工艺在连续管自喷阶段结束后进行，中途由自喷转射流泵排采需要压井作业而无法实现一体化生产。为此，在工艺转换过程中需要带压作业，带压作业需要地面带压作业机与井下管柱配套实施。国内带压作业井下管柱常采用爆破阀、可溶芯剪切球座、插杆开启关闭阀、投放堵塞器等实现[4-14]。爆破阀只能实现带压下管柱，而且是一次性使用，无法满足深层煤岩气井带压作业需求；油管堵塞器需要在管柱内预置工作筒，存在投捞易失效的问题。何汝贤等[15]提出在双管分注中应用小油管连接的插杆开启和关闭趾端阀，实现注水作业的带压起下管柱，但趾端阀的开启、关闭都需要拆装井口后上提下放小油管，增加了操作步骤和作业风险。目前国内尚不能实现双管射流泵全流程带压作业，因此需要研制一种可实现在下管柱、试压、自喷、排采、起管柱等各阶段带压作业的排采工艺管柱。

1　技术分析

1.1　管柱结构

深层煤岩气双管射流泵带压作业排采管柱包括内层管柱与外层管柱（见图1）。外层管柱由外层油管、外工作筒、油管短节、可试压变扣、插入密封外管及液力开关阀组成，内层管柱由内层油管、生产泵芯、射流泵泵筒、可投捞底阀及插入密封芯管组成。其中内层油管、射流泵泵筒、插入密封芯管从上到下由螺纹固定连接；生产泵芯与射流泵泵筒密封配合；可投捞底阀与插入密封芯管密封配合；插入密封外管与插入密封配合；液力开关阀设置有液力开关阀进液口。



1—外层油管；2—内层油管；3—外工作筒；4—生产泵芯；5—射流泵泵筒；6—油管短节；7—可投捞底阀；8—可试压变扣；9—插入密封芯管；10—插入密封外管；11—液力开关阀。

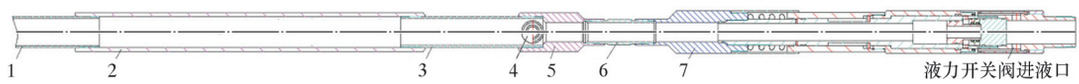
图1　带压作业管柱结构图

Fig. 1　Structural diagram of pressure-maintained operation string

1.2　工作原理

1.2.1　外层管柱带压下入与试压

使用带压作业机将外层管柱下入预定井位。下井时液力开关阀的进液口处于关闭状态，在外层管柱下入过程中，油层的高压流体不能进入外层管柱内部。当外层油管下到预定位置后，在管柱内投入可溶球，按外层管柱试压值要求试压（见图2）。



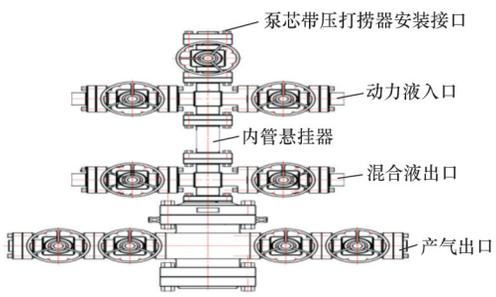
1—外层油管；2—外工作筒；3—油管短节；4—可溶球；5—可试压变扣；6—插入密封外管；7—液力开关阀。

图 2　外层管柱试压阶段井下工具图

Fig. 2　Downhole tool diagram of outer string at pressure test stage

1.2.2　内层管柱带压下入与井口安装

当可溶球溶化后，将内层管柱下入到位，直至插入密封外管与插入密封芯管密封配合；在内层管柱下入预定井位后，安装井口采油树和泵芯带压打捞器。井口采油树主闸门和泵芯带压打捞器的配合使用，能够保证在内层油管内带压投捞生产泵芯、试压泵芯、可投捞底阀及液力打捞器（见图3）。



1—泵芯带压打捞器安装接口；2—动力液入口；3—内管悬挂器；4—混合液出口；5—产气出口。

图 3　泵芯带压打捞器

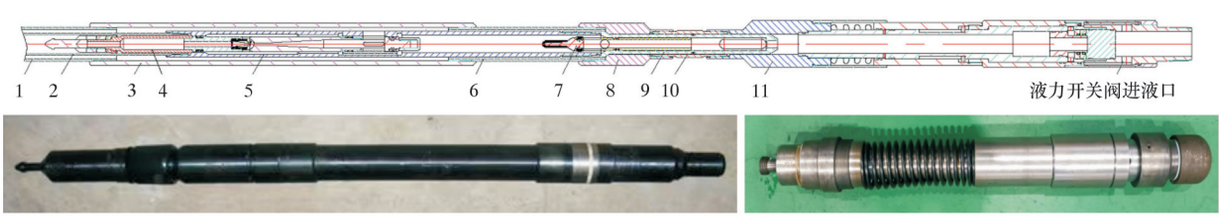
Fig. 3　pump core pressure-maintained fisher after installation

1.2.3　内层管柱试压

从内层油管投入可投捞底阀、试压泵芯，按内层管柱试压要求在内层管柱内加压，验证内层管柱的密封性，由外层油管与内层油管之间的环空反洗出试压泵芯（见图4）。

1.2.4　自喷生产与投生产泵芯生产

从内层油管投入液力打捞泵芯，在内层油管内加压推送液力打捞泵芯到位并抓住可投捞底阀，由外层油管与内层油管之间的环空反洗出液力打捞泵芯与可投捞底阀（见图5）。当内层油管加压至液力开关阀开启压力的设定值时，稳压2~3 min后泄压，打开液力开关阀进液口。如果需要自喷生产，则关闭混合液出口和产气出口处闸门，由内层油管进行自喷生产；如果气井不能自喷生产，则依次投入可投捞底阀、生产泵芯进行同心双管排液生产。正常排采期间需要起出生产泵芯时，由外层油管与内层油管之间的环空反洗出生产泵芯。

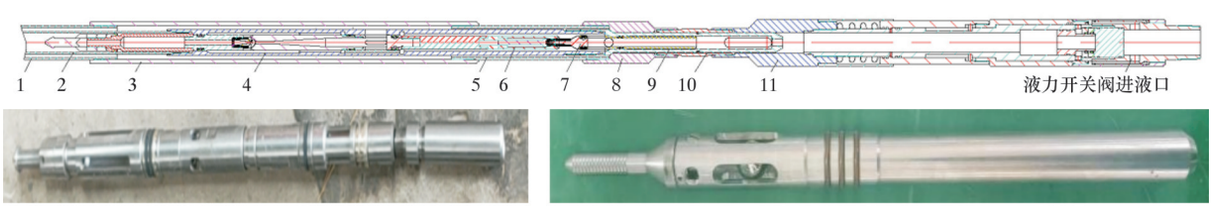


a. 试压泵芯　　b. 液力开关阀

1—外层油管；2—内层油管；3—外工作筒；4—试压泵芯；5—射流泵泵筒；6—油管短节；7—可投捞底阀；8—可试压变扣；9—插入密封芯管；10—插入密封外管；11—液力开关阀。

图 4　内层管柱试压结构图

Fig. 4　Structural diagram of inner string pressure test



a. 液力打捞器　　b. 可投劳底阀

1—外层油管；2—内层油管；3—外工作筒；4—射流泵泵筒；5—油管短节；6—液力打捞器；7—可投捞底阀；8—可试压变扣；9—插入密封芯管；10—插入密封外管；11—液力开关阀。

图 5　可投捞底阀打捞结构图

Fig. 5　Fishing structure of fishable bottom valve

1.2.5　带压起管柱

需要起出内层、外层管柱时，从内层油管投入液力打捞泵芯，在内层油管内加压推送液力打捞泵芯到位并抓住可投捞底阀，由外层油管与内层油管之间的环空反洗出液力打捞泵芯与可投捞底阀；当内层油管加压至液力开关阀开启压力的

设定值时，稳压2~3 min后泄压，关闭液力开关阀进液口，地面利用带压作业机分别上提内层油管、外层油管。

1.3　技术参数

适应井深≤3 000 m，适应井斜≤90°；液力开关阀：耐压35 MPa，耐温≤150 ℃，外径100 mm，开启压力20~27 MPa。

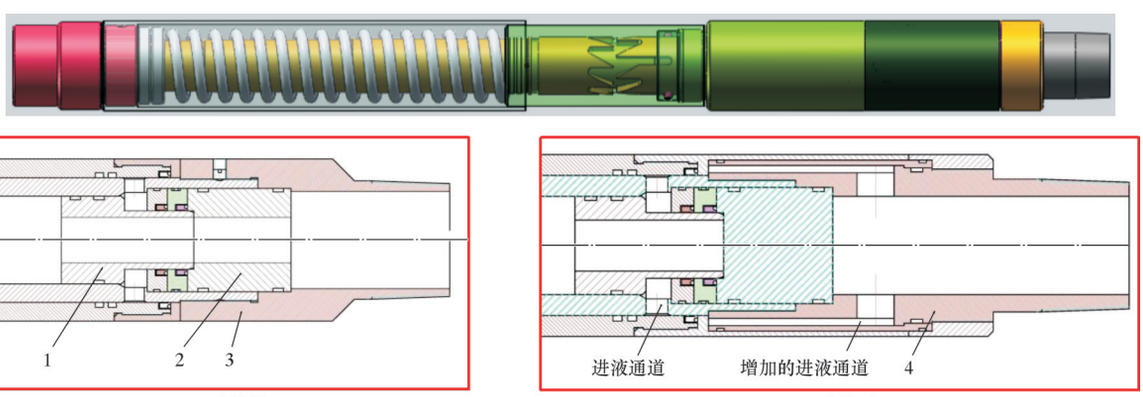
2　液力开关阀设计与试验

2.1　液力开关阀底部进液结构改进设计

液力开关阀是实现深层煤岩气双管射流泵全流程带压作业的关键工具[13-18]，主要由上接头、中心管、弹簧、调节帽、滑套组件、阀芯、阀座、下部进液组件等组成。由于深层煤岩气排采管柱需要在液力开关阀下部悬挂气液分离装置，以减少地面产出水的含气量，而侧向进液的液力开关阀无法满足这项功能，需要改进下部进液组件（见图6）。改进后，让流经气液分离装置的产出水从底部进入液力开关阀，进一步顶开阀芯阀座，最后进入生产泵芯举升至地面。

2.2　液力开关阀开启压力计算

液力开关阀的开启与关闭通过地面加压实现，滑套组件由中心管的长轨变换至短轨后液力开关阀开启，滑套组件由中心管的短轨变换至长轨后液力开关阀关闭。滑套组件的移动需要克服弹簧的压缩力。弹簧参数为：有效圈数n=16，压并圈数n_2=2，总圈数n_1=18，弹簧中径D=71 mm，弹簧线径d=12 mm，自由高度L=420 mm，中心管台阶环形面内径d_1=60 mm，外径D_2=62 mm。当中心管台阶环形面液压作用力达到弹簧移动距离（100 mm）的压缩力时，滑套组件产生换轨动作；弹簧压缩力可通过安装不同数量的调节帽调节，进而改变液力开关阀的开启与关闭压力（见表1）。



a. 改进前　　b. 改进后

1—阀芯；2—阀座；3—改进前下部进液组件；4—改进后下部进液组件。

图6　液力开关阀改进前后对比

Fig. 6　Comparison of hydraulic switch valve before and after improvement

表1　液力开关阀参数计算结果

Tab. 1　Calculation of hydraulic switch valve parameters

安装调节帽数量/个	弹簧安装高度L_0/mm	弹簧换轨压缩高度L_1/mm	弹簧压缩力F/N	开启与关闭压力p_d/MPa
0	408	318	3 619.56	18.90
1	393	303	4 151.85	21.68
2	378	288	4 684.14	24.46
3	363	273	5 216.43	27.24

2.3　液力开关阀开启压力现场调节方法

表1计算的开启与关闭压力是室内地面加压所需要的压力，而液力开关阀在井内的开启与关闭压力受环空液面高度h、套压p_t、液力开关阀垂深H共三方面的影响。现场应用时的开启与关闭压力既要大于一定的数值以防止管柱其他作业导致液力开关阀误开，又不能超过地面安全加压的限制。

液力开关阀在井内的开启与关闭压力可做如下推算：

$$p_s=\left[p_t+\rho g(H-h)\times10^{-6}-\rho gH\times10^{-6}\right]+p_d=(p_t-\rho gh\times10^{-6})+p_d \quad (1)$$

式中：p_s为液力开关阀在井内的开启与关闭压力，MPa；p_t为套压，MPa；ρ为地层水密度，kg/m^3；g为重力加速度，m/s^2；H为液力开关阀垂深，m；h为环空液面高度，m；p_d为液力开关阀地面的开启与关闭压力，MPa。

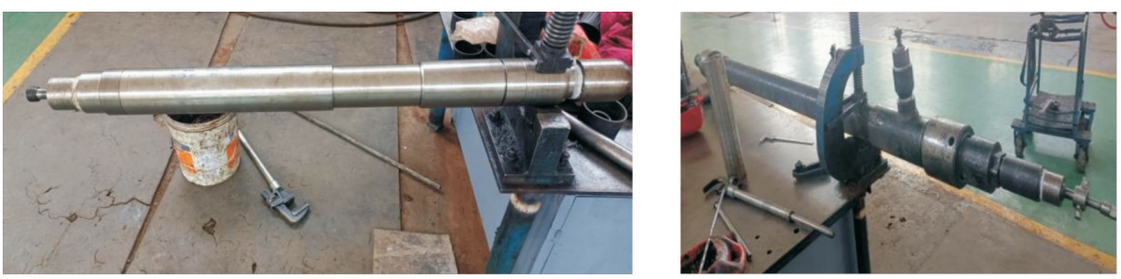
在现场应用中，先按式（1）测算液力开关阀在井内的开启与关闭压力。如果压力过大或者过小，可通过安装不同数量的调节帽调节。

2.4　液力开关阀室内试验

液力开关阀装配工具后进行换轨试验。分别安装不同数量的调节帽，测试换轨压力。试验过程如下：

（1）当液力开关阀开启后，试压接头与下接头连接，从下接头方向加压将中心管中的开关活塞芯子向上推，模拟测试井下排采阶段受流压作用能否开启阀芯阀座。在加压过程中上接头出液，此时液力开关阀仍处于开启状态，验证了液力开关阀开关状态不受压力和流体流动的影响（见图7a）。

（2）当液力开关阀关闭后，模拟测试下井时受套压作用是否误开启。将液力开关阀放置于套管工装内，套管环空加压至35 MPa（液力开关阀耐压值），在加压过程中上接头不出液，验证了液力开关阀开关状态不受套压的影响（见图7b）。



a. 换轨试验　　b. 环空承压试验

图7　液力开关阀室内试验

Fig. 7　Test of hydraulic switch valve

测试结果如表2所示。由表2可知：p_{d1}、p_{d2}与调节帽数量正相关，开启压力、关闭压力试压值与表1计算值基本一致；液力开关阀在安装不同数量调节帽时的开启关闭压力符合设计要求，同时满足环空35 MPa的压力，符合现场使用要求。

表2　液力开关阀参数试验数据

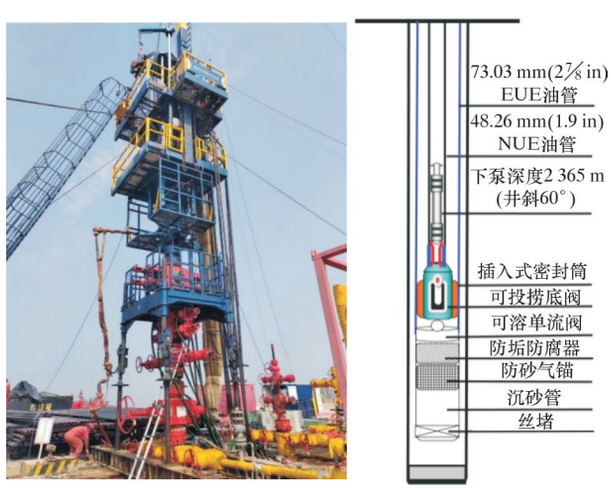
Tab. 2　Test data of hydraulic switch valve parameters

安装调节帽数量/个	由关闭到开启压力p_{d1}/MPa	由开启到关闭压力p_{d2}/MPa
0	19.0	18.9
1	21.8	22.0
2	24.1	24.5
3	27.2	27.5

3　现场应用

2024年1月，中石油煤层气公司吉县大宁区块X1井采用双管射流泵全流程带压排采管柱作业（见图8）。井下管柱主要由动力液管（内层管柱）和混合液管（外层管柱）组成，该井套管内径为ø114. 3 mm。根据井斜数据、井筒内径以及生产情况，设计动力液管为ø48. 26 mm（1. 9 in）油管，混合液管为ø73. 03 mm（2⅞ in）油管，下泵深度2 365. 50 m[16]。

现场试验时，当外层管柱到达预定位置，投可溶球试压；压力升至10 MPa稳压5 min压降不超过0. 7 MPa时，试压合格。连接井口悬挂器，下入内层管柱，并使内层管柱保持10 kN悬重于工作筒上，井口安装完成后，利用油套环空自喷生产。后期内层油管加压至26 MPa时打开液力开关阀，



a. 地面带压作业设备　　b. 井下管柱图

图8　同心双管带压作业

Fig. 8　Concentric dual-tubing operation under pressure

泵入可捞式底阀，投入试压泵芯，对内管进行35 MPa试压；试压完成后，反循环洗出试压泵芯，投入液力打捞器打捞可捞式底阀，加压至26 MPa打开液力开关阀，投入生产泵芯，启动地面动力系统排采，生产情况见图9b。以上转换工序（自喷转射流泵）在现场2 d左右即可完成，而同区块X2井采用连续管自喷转射流泵排采，中途变更工艺压井、起连续管等作业需要30 d左右，且转射流泵生产后产气量恢复较慢（见图9a）。可见双管射流泵全流程带压排采管柱具有明显的技术优势。

目前深层煤岩气井带压作业完井工艺已成为新井投产主力工艺，每年作业井数在60~80口，按每年作业80口井的数量，5年预计有400口井的应用规模。按照单井平均日产气2. 5万 m^2、气价

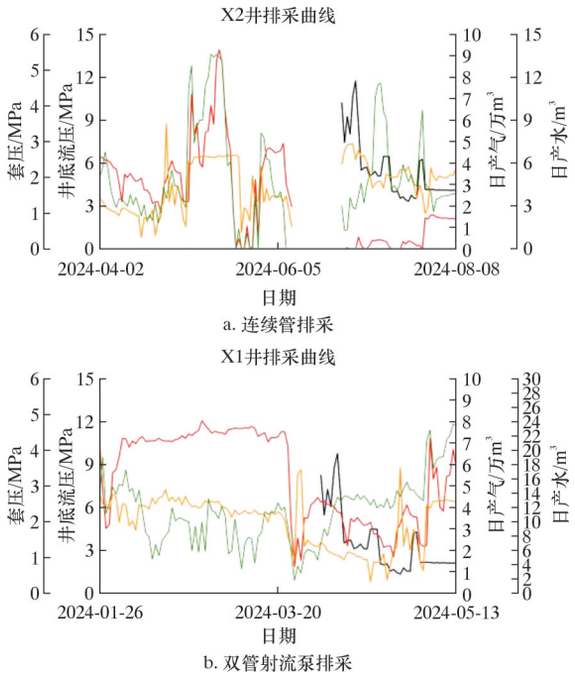


图 9　双管带压作业与连续管自喷转射流泵排采对比

Fig. 9　Comparison between dual-tubing operation under pressure and jet pump deliquification converted from coiled tubing flowing

2.2 元/m³ 计算，单井可增加经济效益 181.5 万元，还可以减少气井在变更生产工艺期间（平均 33 d）由于停产造成的损失，经济效益显著。

4　结论与展望

（1）双管射流泵工艺管柱采用液力打捞器带压投捞底阀作业，确保射流泵起泵芯、试压等作业中不影响液力开关阀的开关状态，能够实现下管柱、试压、自喷、排采起下泵芯及起管柱全流程带压切换。

（2）液力开关阀具备底部进液可悬挂气锚和参数现场可调节的功能，并可根据管柱不同流程开启或关闭。

（3）双管射流泵工艺管柱能够有效增加煤岩气的产出能力，降低作业风险，实现快速安全生产和清洁施工，减少因变更作业流程增加的作业成本，解决了常规作业后排液周期长的工艺难题，对深层煤岩气高效排采具有重大意义。

参　考　文　献

[1] 秦勇，郑长东，王博洋，等. 基于等温吸附曲线的煤储层产气潜力定量评价：以黔北地区长岗矿区为例[J]. 天然气工业，2018，38（9）：40-47.
QIN Y，ZHENG C D，WANG B Y，et al. Quantitative evaluation on the gas production potential of coal reservoirs based on isothermal adsorption curves：a case study of the Changgang Field，Northern Guizhou，China[J]. Natural Gas Industry，2018，38（9）：40-47.

[2] 刘印华，吴建军，王云飞，等. 煤层气井同心管气体射流排采特征分析[J]. 石油机械，2024，52（5）：107-115.
LIU Y H，WU J J，WANG Y F，et al. Drainage characteristics of concentric tube gas jet in CBM wells[J]. China Petroleum Machinery，2024，52（5）：107-115.

[3] 马文涛，刘印华，吴建军，等. 煤层气井无杆排采工艺应用与改进方向：以鄂尔多斯盆地东缘为例[J]. 煤田地质与勘探，2022，50（9）：22-31.
MA W T，LIU Y H，WU J J，et al. Application and improvement directions of rodless drainage technology in coalbed methane wells：a case study from east margin of Ordos Basin[J]. Coal Geology & Exploration，2022，50（9）：22-31.

[4] 胡旭光，罗园，刘贵义，等. 气井带压作业油管内密封工具应用现状与发展趋势[J]. 天然气技术与经济，2022，16（5）：32-37.
HU X G，LUO Y，LIU G Y，et al. Application and development trend of sealing tools inside tubing during snubbing of gas wells[J]. Natural Gas Technology and Economy，2022，16（5）：32-37.

[5] 肖国华，黄晓蒙，姜卫中，等. 高压分注井全过程带压作业管柱[J]. 石油机械，2019，47（9）：118-122.
XIAO G H，HUANG X M，JIANG W Z，et al. Whole process snubbing operation string for the high pressure separate layer injection well[J]. China Petroleum Machinery，2019，47（9）：118-122.

[6] 黄晓蒙，肖国华，王芳，等. 冀东油田高压注水带压作业管柱的研制与应用[J]. 石油机械，2016，44（3）：98-101.
HUANG X M，XIAO G H，WANG F，et al. Development and application of snubbing operation string for high pressure injection wells in Jidong oilfield[J]. China Petroleum Machinery，2016，44（3）：98-101.

[7] 杨令瑞，谢正凯，韩烈祥，等. 气井带压作业技术装备升级换代之路：现场试验进展[J]. 石油科技论坛，2015（1）：18-21，35.
YANG L R，XIE Z K，HAN L X，et al. A path to snubbing technology and equipment upgrading for gas well operations：advances in field tests[J]. Petroleum Science and Technology Forum，2015（1）：18-21，35.

[8] 肖润德，杨令瑞，杨玻，等. 四川不压井起下井内管串工艺技术的研究与应用[J]. 钻采工艺，2005，28

(1)：22-24.
XIAO R D，YANG L R，YANG B，et al. Research and application of snubbing technology in Sichuan oil & gas field [J]. Drilling & Production Technology，2005，28 (1)：22-24.

[9] 胡旭光，徐勇军，罗卫华，等. 页岩气井带压作业关键技术与应用评价 [J]. 天然气技术与经济，2019，13 (5)：43-48.
HU X G，XU Y J，LUO W H，et al. Key technologies for snubbing operation of shale-gas wells and their application [J]. Natural Gas Technology，2019，13 (5)：43-48.

[10] 黄杰，徐小建，郭瑞华，等. 气井带压作业技术在苏里格气田的应用与进展 [J]. 石油机械，2014，42 (9)：105-108.
HUANG J，XU X J，GUO R H，et al. Application and development of snubbing operation in gas well in Sulige gas field [J]. China Petroleum Machinery，2014，42 (9)：105-108.

[11] 付必伟，魏梦辉，杨超. 气井带压作业管柱稳定性安全评估方法研究 [J]. 石油机械，2023，51 (5)：136-142.
FU B W，WEI M H，YANG C. Safety evaluation method of gas well pipe string stability in snubbing operations [J]. China Petroleum Machinery，2023，51 (5)：136-142.

[12] 刘江波，白小佩，王效明，等. 长庆油田带压作业分层注水工艺技术研究 [J]. 石油机械，2014，42 (2)：69-72.
LIU J B，BAI X P，WANG X M，et al. Research on layered injection technology in snubbing operation in Changqing oilfield [J]. China Petroleum Machinery，2014，42 (2)：69-72.

[13] 王林，平恩顺，潘艳萍，等. 可重复开关插管桥塞及配套不压井完井技术 [J]. 石油机械，2020，48 (9)：81-85.
WANG L，PING E S，PAN Y P，et al. Repeatable switching bridge plug and supporting pressure balance well completion technology [J]. China Petroleum Machinery，2020，48 (9)：81-85.

[14] 张士彬，左挺，祝叶，等. 连续管速度管柱带压起出封堵工具的研究与应用 [J]. 石油机械，2023，51 (10)：101-106.
ZHANG S B，ZUO T，ZHU Y，et al. Research and application of plugging tool for pulling out under pressure from coiled tubing velocity string [J]. China Petroleum Machinery，2023，51 (10)：101-106.

[15] 何汝贤，王守虎，姚斌，等. 一种双管分注带压作业装置及方法：201910602452. X [P]. 2019-07-05.
HE R X，WANG S H，YAO B，et al. A dual tube injection pressurized operation device and method：201910602452. X [P]. 2019-07-05.

[16] 于姣姣，李又武，李乐忠，等. 同心双管射流泵排采工艺参数设计及应用 [J]. 石油机械，2020，48 (1)：95-101.
YU J J，LI Y W，LI L Z，et al. Design and application of drainage and gas recovery process parameters of concentric dual tubing jet pump [J]. China Petroleum Machinery，2020，48 (1)：95-101.

[17] 朱峰，郭智栋，陈世波，等. 煤层气连续管排液采气一体化工艺研究与应用 [J]. 石油机械，2021，49 (1)：118-123.
ZHU F，GUO Z D，CHEN S B，et al. Research and application of the integrated technology of liquid drainage and CBM production by coiled tubing [J]. China Petroleum Machinery，2021，49 (1)：118-123.

[18] 柳庆仁，张富强，吕维平，等. 连续管技术与装备在深层页岩气开发中的浅析[J]. 世界石油工业，2024，31(1)：61-69.
LIU Q R，ZHANG F Q，LYU W P，et al. Analysis of coiled tubing technology and equipment in deep shale gas development[J]. World Petroleum Industry，2024，31(1)：61-69.

第一作者简介：吴建军，高级工程师，生于1985年，2011年毕业于中国石油大学（华东）机械工程专业，获硕士学位，现从事煤层气、致密气及页岩气的钻完井、储层改造及排采工艺的研究工作。地址：(710082) 陕西省西安市。email：wujj85@126. com。

通信作者：闫永维，高级工程师。email：yong2002043226@163. com。

收稿日期：2024-08-20　　**修改稿收到日期：**2025-02-26

（本文编辑　任　武）