作业技术与装备

致密气井连续管完井一体化技术*

白晓弘[1,2]，赵彬彬[1,2]，杨旭东[1,2]，常永峰[1,2]，
韩强辉[1,2]，马海宾[1,2]，王晓荣[1,2]
（1. 长庆油田分公司油气工艺研究院，西安 710018；
2. 低渗透油气田勘探开发国家工程实验室，西安 710018）

摘 要：长庆油田致密气为低渗高含水气藏，此前采用Φ60.3 mm常规油管接单根带压完井，施工复杂、效率低，加之油管管径较大，携液能力有限，只能满足投产初期生产的需求，在中后期生产时，当井内气体速度低于油管临界携液流速时井底开始积液，虽然可以采用较为成熟的泡沫排水、速度管柱、柱塞气举等排水采气工艺，但存在作用时间有限、需要分段实施等问题，效果差、成本高。选用Φ50.8 mm连续管作为致密气井生产管柱，创新研发了一体化节流堵塞器，具有封堵、节流、承接柱塞等多种功能，同时，设计了井口直座式悬挂器和双卡瓦重载连接器、转换接头，实现了Φ50.8 mm连续管直接连接和悬挂密封，在国内率先形成Φ50.8 mm连续管完井一体化技术，实现了气井高压期节流降压、低压期连续排液生产和间歇期柱塞气举的全生命周期生产。大量气井应用表明，与Φ60.3 mm油管带压完井作业相比较，Φ50.8 mm连续管完井一体化作业周期缩短50%以上，气井自然连续生产期延长1.5年。

关键词：连续管；一体化完井；全生命周期生产；节流堵塞器；直座式悬挂器
中图分类号：TE257 **文献标识码：**B DOI: 10.19291/j.cnki.1001-3938.2023.07.015

Integrated Technology for Tight Gas Well Coiled Tubing Completion

BAI Xiaohong[1,2], ZHAO Binbin[1,2], YANG Xudong[1,2], CHANG Yongfeng[1,2],
HAN Qianghui[1,2], MA Haibin[1,2], WANG Xiaorong[1,2]
(*1. Research Institute of Oil and Gas Technology in Chang Qing Oilfield Company, Xi'an 710018, China; 2. Low Permeability Oil and Gas Field Exploration and Development of the National Engineering Laboratory, Xi'an 710018, China*)

Abstract: Tight gas in Changqing oil field is a gas reservoir with low permeability and high water content. The Φ60.3 mm tubing snubbing completion was completed by means of a single joint, which is complicated in construction and inefficient. In addition, the large diameter of the tubing has limited liquid carrying capacity, so it can only meet the needs of the initial production. In the middle and later stages of production, when the gas velocity in the well is lower than the critical liquid carrying flow rate of the tubing, liquid begins to accumulate at the bottom of the well. Although more mature drainage and gas production processes such as foam drainage, velocity string, plunger gas lift and so on can be used, there are issues such as limited action time and the need for segmented implementation, resulting in poor effectiveness and high costs. The Φ50.8 mm coiled tubing as the production string of tight gas wells is selected, and the integrated throttle blocker has been innovatively developed, which has multiple functions such as plugging, throttling, and undertaking plunger. At the same time, the wellhead straight seat hanger, dual slip heavy load connector, and transfer joints have been designed to achieve direct connection of Φ50.8 mm coiled tubing with suspension seals. The integrated technology of Φ50.8 mm coiled tubing completion has been formed in China firstly. Full lifecycle production of gas wells during high - pressure throttling and pressure reduction, low - pressure continuous liquid discharge production, and intermittent plunger gas lift is realized. A large number of gas well applications show that compared

*基金项目：中国石油天然气集团有限公司重大推广专项“连续管作业技术专项推广（二期）”（项目编号2017B-4017）。

with the Φ60.3 mm tubing snubbing completion, the operating cycle of the Φ50.8 mm coiled tubing completion integration is shortened by more than 50%, and the natural continuous production period of the gas well is extended by 1.5 years.

Key words: coiled tubing; integrated completion; full life cycle production; throttling blocker; straight seat suspender

0　前　言

目前，长庆气田致密气井主体采用Φ114.3 mm、Φ139.7 mm套管固井，投产时一般下入Φ60.3 mm EU N80油管作为生产管柱[1-3]，生产初期利用井下节流技术实现节流降压，中后期采用泡沫排水、速度管柱、柱塞气举为主的排水采气技术排除井筒积液。Φ60.3 mm油管完井采用接单根方式，施工工艺复杂、效率低，产建任务紧急时无法满足完井需求，且后期修井起管费用高[4-5]。同时，油管管径较大，携液能力有限，无法满足中后期生产需求，虽然排水采气主体工艺配套成熟，但工艺措施分段实施效果差、成本高。气田形成的Φ38.1 mm为主的连续管速度管柱排水采气技术，相对Φ60.3 mm油管有较强的携液能力，但其管径小，配套井下节流及柱塞气举等井下工具困难，也无法满足气井全生命周期生产需求。本研究选用Φ50.8 mm连续管开发了连续管完井一体化技术，可实现致密气井全生命周期生产，显著提高了作业效率，降低了作业成本。

1　连续管完井技术思路

以降本增效并实现气井全生命周期生产为目标，通过管柱优选、关键工具研发及现场应用，形成“连续管柱+井下节流+柱塞气举”为核心的连续管完井与采气一体化技术思路，实现气井高压期节流降压、低压期速度管柱连续排液生产、间歇期柱塞气举的全生命周期生产。

1.1　连续管尺寸优选

1.1.1　敏感性分析

按照无阻流量4×10⁴ m³/d、10×10⁴ m³/d、15×10⁴ m³/d、20×10⁴ m³/d四种情况，应用节点分析技术对不同规格油管的气井进行产量敏感性分析，见表1。长庆气田致密气井直井/定向井配产1×10⁴ m³/d，水平井配产（3～5）×10⁴ m³/d，采用Φ50.8 mm连续管（内径42.8 mm）最大产量区间为（3.787～13.117）×10⁴ m³/d，能够满足气井开发初期最大配产要求。

表1　不同产能条件下不同规格油管协调点产量表

油管内径/mm	无阻流量/(×10⁴ m³·d⁻¹)			
	4	10	15	20
25.4	3.018	4.705	5.305	5.642
31.8	3.524	6.635	8.022	8.735
42.8	3.787	8.397	11.058	13.117
50.7	3.862	9.240	13.063	16.306
62.0	3.899	9.569	13.981	18.122
76.0	3.899	9.727	14.449	19.078

1.1.2　携液能力分析

对不同内径油管在不同井口压力下气井临界携液流量进行计算分析，结果如图1所示。在井口压力2 MPa条件下，Φ50.8 mm连续管（内径42.8 mm）相比Φ60.3 mm油管（内径50.7 mm）携液流量降低，而携液能力提高30%，故选择Φ50.8 mm连续管完井可使低产井连续生产时间延长。

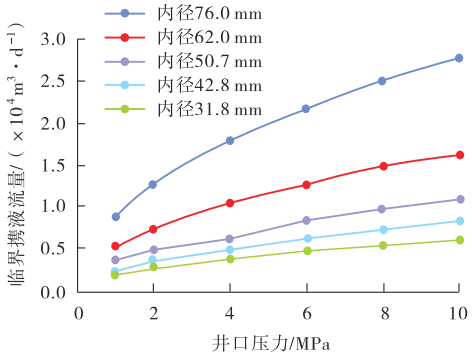

图1　不同尺寸油管临界携液流量计算结果

1.1.3　冲蚀流量分析

根据文献，当气流速度大于21.3 m/s时，对油管产生显著冲蚀作用。图2所示为不同油管尺寸、不同井口压力条件下气体临界冲蚀流量。长庆气田致密气井直井/定向井配产1×10⁴ m³/d、水平井配产（3～5）×10⁴ m³/d，选择Φ50.8 mm连续管（内径42.8 mm）完井生产时不会发生冲蚀。

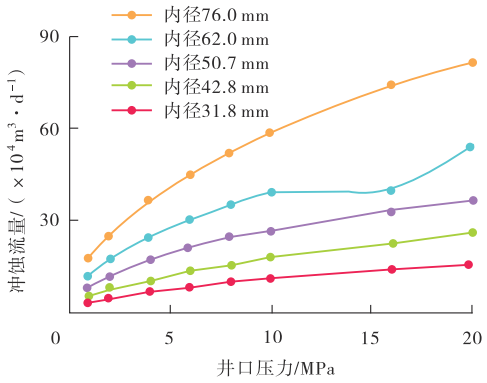

图2　不同尺寸、不同井口压力下油管冲蚀流量

1.2　连续管强度分析

一般而言，连续管的屈服强度和抗内压性能较强，作为完井管柱的连续管强度校核时主要考虑抗拉强度，长庆气田致密气井直井/定向井深度2 800～3 700 m，水平井深度一般4 500 m，不考虑摩擦力和浮力影响，连续管下入深度计算公式[6]为

$$\sigma_{max} = \frac{W}{S} = \frac{4ql}{\pi(r_o^2 - r_i^2)} \leqslant \frac{[\sigma]}{\lambda} \tag{1}$$

$$l \leqslant \frac{\pi(r_o^2 - r_i^2)}{4q\lambda}[\sigma] \tag{2}$$

式中：σ_{max}——连续管能承受的最大许用应力，Pa；

W——连续管重力，N；

S——连续管横截面积，m²；

$[\sigma]$——连续管许用应力，Pa；

λ——安全系数，取1.50；

q——连续管单位长度的重量，N/m；

r_i、r_o——连续管内、外径，m；

l——连续管下入深度，m。

按照公式（2）计算CT70钢级Φ50.8 mm连续管最大下入深度4 580 m，满足气田下入深度要求。

2　关键工具研究

2.1　一体化节流堵塞器设计

不同于速度管柱管尾预置的常规堵塞器[7-8]，Φ50.8 mm连续管完井时管尾必须预置专门的堵塞器才能满足带压下管、井下节流降压、速度管柱携液、柱塞气举的气井全生命周期生产需求。为此，研发了一体化节流堵塞器，如图3所示。该工具采用滚压式连接方式，连接强度可达20 t以上；采用割缝筛管设计，且筛缝有效过流面积不小于节流器最小过流面积，既能防止压裂砂和地层砂堵塞节流嘴，又能防止过度节流。

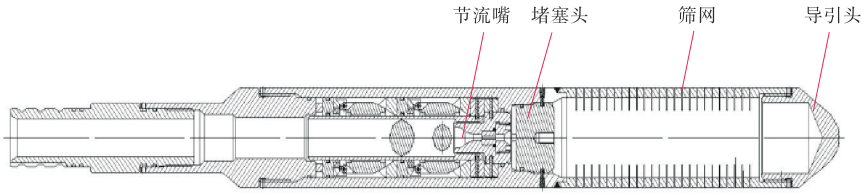

图3　一体化节流堵塞器示意图

2.2　直座式悬挂器设计

针对Φ50.8 mm连续管载荷大的难题，借鉴常规油管的井口萝卜头悬挂方式，设计了井口直座式悬挂器和配套的双卡瓦重载连接器、转换接头，实现了Φ50.8 mm连续管直接连接与悬挂密封，直座式悬挂器如图4所示。直座式悬挂器悬挂载荷达28 t，悬挂CT70钢级Φ50.8 mm连续管长度达6 110 m，满足生产现场要求。

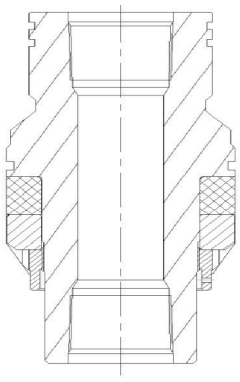

图4　直座式悬挂器示意图

2.3　柱塞气举井口装置设计

针对常规采气井口与连续管内通径不一致的问题，设计了柱塞衬管，完井时将柱塞衬管与直座式悬挂器通过丝扣相连接，如图5所示，保障了柱塞在井口的顺利往复运动。气井生产过程

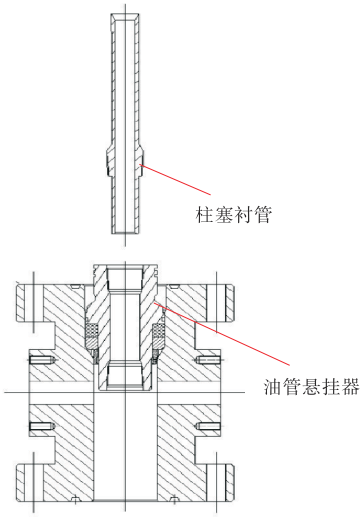

图5　直座式悬挂器与柱塞衬管连接示意图

中，当产量低于Φ50.8 mm连续管临界携液流量时，气井无法自主携液，在连续管内部投放柱塞，辅助柱塞气举排水采气工艺，能够排除井筒积液，提高气井的采收率。

3　现场应用

Φ50.8 mm连续管完井与采气一体化技术已在长庆气田致密气井规模应用300余口，平均油压3.0 MPa，套压10.0 MPa，单井平均产气量1.2×10^4 m^3/d，总体生产情况稳定，实现了早期带压下管、高压期井下节流降压、低压期速度管柱全通径生产、间歇期柱塞气举的全生命周期生产。经测算分析，较常规Φ60.3 mm油管带压完井，作业周期缩短50%以上，自然连续生产期可延长1.5年，预计15年采气综合成本可降低14.5%，且便于后期气井带压作业。

4　结　论

（1）优选出Φ50.8 mm连续管作为完井管柱，满足长庆气田致密气井最大配产、携液能力、冲蚀流量、管柱强度等四方面的要求。

（2）创新设计的Φ50.8 mm连续管一体化节流堵塞器，兼有节流、堵塞、承接柱塞等三重功能，保障了致密气井全生命周期生产。

（3）创新设计的井口直座式悬挂器配套双卡瓦重载连接器和转换接头，实现了Φ50.8 mm连续管与采气树直接连接及悬挂密封。

（4）致密气井连续管完井与采气一体化技术实现了早期带压下管、高压期井下节流、低压期速度管柱排水采气、间歇期柱塞气举的全生命周期生产，显著提高现场作业的安全性和效率，对于国内致密气、页岩气开发具有广阔的应用前景。

参考文献：

[1] 李宪文，肖元相，陈宝春，等.苏里格气田致密砂岩气藏多层分压开采面临的难题及对策[J].天然气工业，2019，39(8)：66-72.

[2] 史配铭，倪华峰，石崇东，等.苏里格致密气藏超长水平段水平井钻井完井关键技术[J].石油钻探技术，2021，50(1)：13-21.

[3] 李国华，王素荣，古永红，等.直井连续分层压裂工艺在长庆油田上古低渗砂岩气藏的应用[J].油气井测试，2013，38(2)：63-70.

[4] 张歧，王军杰，王旭，等.靖边气田上古生界储层查层补孔技术研究[J].石油化工应用，2012，31(8)：74-76.

[5] 王思凡，黄永章，胡东锋.气探井封层桥塞捞磨工艺研究及应用[J].石油机械，2021，49(1)：41-46.

[6] 刘亚明，于永南，仇伟德.连续油管最大下入深度问题初探[J].石油机械，2000，13(6)：55-57.

[7] 赵彬彬，李丽，白晓弘，等.水平井速度管柱排水采气技术研究及试验[J].石油机械，2018，46(1)：88-91.

[8] 白晓弘，李旭日，刘凯文，等.速度管柱排水采气技术的应用及改进[J].石油机械，2011，39(12)：60-62.

作者简介：白晓弘（1975—），高级工程师，现从事采气工艺技术研究工作。

收稿日期：2022-06-19
修改返回日期：2023-04-20
编辑：郭克星