

# 延长油田吴38井区CO<sub>2</sub>埋存与驱油地面工艺\*

陈龙龙<sup>1</sup> 江绍静<sup>1</sup> 杨永超<sup>1</sup> 黄春霞<sup>1</sup> 余华贵<sup>1</sup> 白成来<sup>2</sup>

**摘要：**延长油田吴38井区已建成3座橇装式注入站，可同时对5口井实施注气，涉及24口生产井受效。它是西北第一个实施CO<sub>2</sub>埋存与驱油的标准化地面工艺系统，系统主体由低压及高压两大模块组成，低压模块包括CO<sub>2</sub>存储区、CO<sub>2</sub>喂液及循环区、增压区，高压模块包括CO<sub>2</sub>注入及循环区、辅助监测系统。地面工艺系统投入使用后，单井注入量为25 t/d，可实现数据全自动监控和存储。根据预测，原油采收率与水驱相比提高10.79%，这对减少CO<sub>2</sub>温室气体排放及低渗油藏开发具有重要的意义。

**关键词：**延长油田；CO<sub>2</sub>驱油；CO<sub>2</sub>埋存；地面工艺；原油采收率

Doi:10.3969/j.issn.1006-6896.2016.4.012

## CO<sub>2</sub> Storage and Surface Flooding Process of Wu 38 Well Block in Yanchang Oilfield

Chen Longlong, Jiang Shaojing, Yang Yongchao, Huang Chunxia, Yu Huagui, Bai Chenglai

**Abstract:** 3 movable injection stations have been built in Wu38 well block of YanChang Oilfield. At the same time, five gas injection wells can be gas injected, which involving 24 production Wells. It is the first standardization surface process system that CO<sub>2</sub> storage and CO<sub>2</sub>-EOR in the northwest. The system main body consists of two big modules: low pressure and high pressure. Low pressure module includes CO<sub>2</sub> storage tank, CO<sub>2</sub> feeding and circulation area, supercharging area; high-pressure module includes CO<sub>2</sub> injection and loop area, auxiliary monitoring system. After the surface process system put into use, the single well CO<sub>2</sub> injection rate is 25 t/d, it can realize automatic monitoring and data storage. According to the forecast, the oil recovery of CO<sub>2</sub> flooding is 10.79% higher than that of water flooding, which has the vital significance to the reduction of CO<sub>2</sub> greenhouse gas emissions and low permeability reservoir development.

**Key words:** Yanchang oilfield; CO<sub>2</sub> flooding; CO<sub>2</sub> storage; ground process oil recovery

CO<sub>2</sub>捕集、封存与驱油（CCUS）技术是继油田注水开发之后较为成熟的三次采油技术，该技术的应用能够起到减少温室气体和增加原油产量的双重效果。国内（大庆、吉林、中原、胜利、华北等油田）和国外（美国、加拿大、前苏联、澳大利亚等）都对CCUS技术进行了大量的室内研究及现场实践<sup>[1-6]</sup>。延长油田位于陕北半干旱地区，水资源相对匮乏，而油田已进入注水开发阶段，需要消耗陕北地区全部水资源的1%。延长油田炼化及煤化工能够提供大量的高纯CO<sub>2</sub>，因此，利用CCUS技术对油藏进行开发是由注水向注气转变、降低油田开发耗水量的重要举措，也是陕北半干旱地区石油工

业与自然环境和谐发展的一种探索和尝试，更是中国CCUS发展新模式的有益探索。

## 1 CO<sub>2</sub>驱试验区概况

2012年延长油田“陕北煤化工CO<sub>2</sub>捕集、埋存与提高采收率技术示范”被列入国家科技支撑项目。经筛选，吴38井区作为CO<sub>2</sub>驱项目试验区块之一，目的层为长4+5，储层连续性好，平均孔隙度为12.8%，平均渗透率为 $0.784 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，平均砂岩厚度为7.69 m，原始含油饱和度为55%，属于低孔特低渗透储层。地层原油黏度为2.38 mPa·s，密度为0.781 6 g/cm<sup>3</sup>，饱和压力为5.4 MPa，溶解气

\*基金论文：国家科技支撑计划“陕北煤化工CO<sub>2</sub>捕集、埋存与提高采收率技术示范”（2012BAC26B00）。

<sup>1</sup>陕西延长石油（集团）有限责任公司研究院 <sup>2</sup>延长油田股份有限公司吴起采油厂

油比为  $45.6 \text{ m}^3/\text{t}$ ，原油具有黏度低、密度低的特点，油藏条件非常适合开展  $\text{CO}_2$  驱油。

试验区位于吴起县西南方位，距离  $\text{CO}_2$  气源近，可形成  $\text{CO}_2$  捕集、运输、埋存与利用的一体化产业链。目前已建成三座橇装式注入站，包括 5 口注气井，日注入量为 125 t，涉及 24 口受益井。

## 2 试验区地面工艺系统

地面工艺系统由两大模块组成，分别为低压区和高压区，低压区包括  $\text{CO}_2$  存储区、 $\text{CO}_2$  喂液及循环区、增压区；高压区包括  $\text{CO}_2$  注入及循环区和辅助监测系统， $\text{CO}_2$  驱地面工艺系统如图 1 所示。

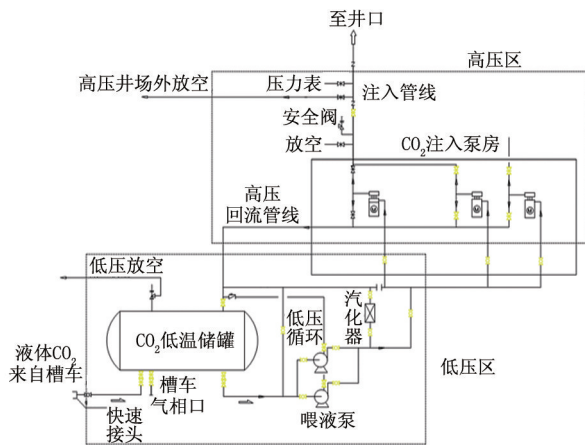


图 1  $\text{CO}_2$  驱地面工艺系统

### 2.1 $\text{CO}_2$ 存储区

$\text{CO}_2$  存储区由  $30 \text{ m}^3$  低温储罐及阀门组成，工作条件为  $2.2 \text{ MPa}$ 、 $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ 。储罐为双层结构，绝热材料选用热态下的珠光砂充填夹层并抽真空，达到最佳的绝热效果，防止液态  $\text{CO}_2$  气化，储罐夹层封结后真空度  $\leq 3 \text{ Pa}$ 。

储罐作为  $\text{CO}_2$  注入的源头，罐体结构具有多项进出口阀，包括气相阀、液相阀、 $\text{CO}_2$  卸车阀、泄压阀、取样阀等。储罐监测仪包括低温压力表（ $0\sim 4 \text{ MPa}$ 、 $-40 \text{ }^\circ\text{C}$ ）及液位计，安全控制有手动放空及自动放空安全阀（开启压力  $2.2 \text{ MPa}$ ）。

### 2.2 $\text{CO}_2$ 喂液及循环区

$\text{CO}_2$  喂液区由两台屏蔽泵组成，一备一用，扬程为  $40 \text{ m}$ ，排量为  $5 \text{ m}^3/\text{h}$ ，能够在进口压力的基础上提升  $0.4 \text{ MPa}$  的压力，保证出口压力在  $2.0\sim 2.5 \text{ MPa}$ ，这样柱塞泵进口压力及供液充足。屏蔽泵以低温液态  $\text{CO}_2$  为润滑剂，一旦泵体内产生气态  $\text{CO}_2$ ，泵叶轮润滑不足，温度升高，剪切效果下降，导致增压能力下降。

循环区，俗称“小循环”，当出口端遇阻， $\text{CO}_2$  可循环至储罐，喂液泵循环冷却，因此，注入过程

中循环阀门应常开。

### 2.3 增压区

增压区由一台水浴式汽化器及进出口阀门组成，其工作压力为  $10 \text{ MPa}$ ，气化量为  $100 \text{ m}^3/\text{h}$ 。它的作用在于当储罐剩余压力不足或环境气温较低，屏蔽泵增压后也无法保证柱塞泵进口压力的条件时，液态  $\text{CO}_2$  通过汽化器加热气化回到储罐，从上部对储罐增压，以保证喂液压力，由于西北冬季气温较低，汽化器是必不可少的设备。

### 2.4 注入及循环区

注入区由低温柱塞泵、变频控制柜及高压管线组成，从柱塞泵出口到注气井井口形成注入通道。柱塞泵要求进口压力  $2\sim 4 \text{ MPa}$ ，其排量为  $2 \text{ m}^3/\text{h}$ ，出口压力  $25 \text{ MPa}$ ，它能够在进口压力的基础上提升至需要的注入压力，进行  $\text{CO}_2$  注入。变频控制柜是重要的控制系统，可通过调整电流频率，改变柱塞泵的转速，从而调整泵的注入量。注入管线由  $16\text{Mn}$  的钢管连接而成，耐低温、耐高压（ $-40 \text{ }^\circ\text{C}$ 、 $25 \text{ MPa}$ ），注入站建设完成后需对管线进行耐压和密闭性测试，以保证长期使用。

高压循环管线由同样管材组成，它是整个注入站的循环通道，俗称“大循环”，其作用是柱塞泵循环预冷及整个系统循环预冷。在注入过程中要先开启注入阀门然后关闭循环阀门，防止憋压造成事故。

### 2.5 监测辅助系统

低温液态  $\text{CO}_2$  的整个流程都处于密闭系统中，无法观测其各个环节中的状态。吴起  $\text{CO}_2$  地面站安装了电子监测系统，从低压到高压都安装有电子压力表、温度表、液位计及联动保护装置。短时间停注时，管道内产生气化，压力升高，或是在注入过程中系统都可监测到相关数据的变化，并将数据传输至计算机进行存储。

## 3 现场应用

吴起 38 井区  $\text{CO}_2$  区地面站建成于 2014 年 12 月初，正式投产于 2014 年 12 月底。目前累计注入  $\text{CO}_2$  超过  $3000 \text{ t}$ ，注入压力为  $10\sim 11 \text{ MPa}$ 。通过现场监测分析，地层能量补充效果较好，部分受益井套管气  $\text{CO}_2$  含量稍有上升，产液量变化较小，但含水率下降明显。

在实践应用中要解决好以下问题：

(1) 气化问题： $\text{CO}_2$  储罐受周围环境影响较大，如太阳直射，导致液相  $\text{CO}_2$  气化，因此要做好储罐的保冷；管道设计应做到“短、（下转第 41 页）”