

二氧化碳驱采油技术

2011 年



中国石油天然气集团公司 科技管理部

中国石油拥有先进的 CO₂ 驱采油技术，助您提高油田开发效果！





目 录

简介	3
特色技术	5
典型案例	13
科研装备	15
资质与标准	16
专家团队	18



中国石油

中国石油天然气集团公司是国家授权投资的机构和国家控股公司,是实行上下游、内外贸、产销一体化,按照现代企业制度运作,跨地区、跨行业、跨国经营的综合性石油公司,下设上游 17 家、下游 33 家、销售 36 家大型企业。作为中国境内最大的原油天然气生产、供应商和最大的炼油化工产品生产、供应商之一,中国石油天然气集团 2010 年国内生产原油 10513 万吨,生产天然气 725 亿立方米,加工原油 1.35 亿吨,全年实现营业收入 1.72 万亿元,实现利润 1727 亿元,实现利润在国内企业中位居榜首。

美国《财富》杂志 2010 年度全球 500 强公

司排名中,中国石油天然气集团公司居第 10 位,在全球 50 家大石油公司中位居第 5 位。中国石油天然气集团公司履行资源、市场和国际化战略,坚持推进科技进步,实施技术创新,以全面提升技术创新能力为主线,以解决制约主营业务发展的重大瓶颈技术为重点,不断完善技术创新体系,优化科技资源配置,强化科技人才队伍建设,技术创新能力大幅度提升,技术实力显著增强,取得了一大批高水平,具有自主知识产权的创新成果。

CO₂ 驱采油技术 (CO₂-EOR) 就是具有代表性的重大创新成果之一。

奉献能源 创造和谐

1

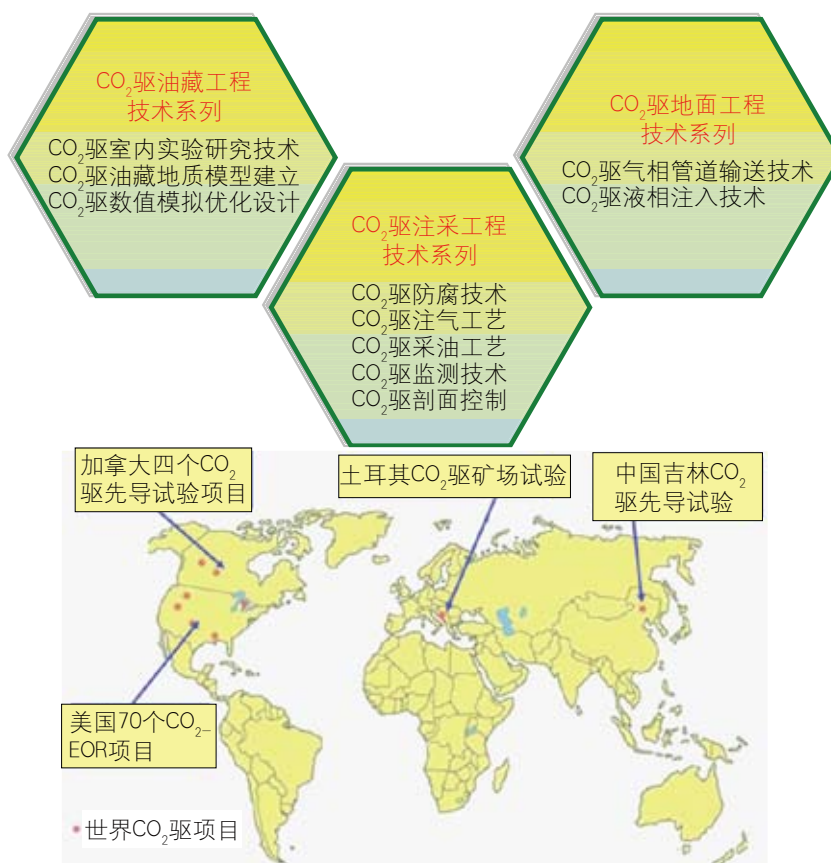
简介

中国石油一直致力于 CO₂ 驱提高低渗透油田采收率和动用率技术攻关与实践，形成了多项独有的特色技术，集聚了一批优秀的专业技术人才，建设了一流的室内实验室和现场中试基地，可提供与之相关的各项技术服务。

中国石油在 CO₂ 驱油技术方面形成了油藏工程、注采工程和地面工程三大技术系列十项

特色技术。拥有技术专利和技术秘密 24 项。

CO₂ 驱采油技术成功应用于中国的吉林油田、大庆油田等油区，为储量可观的低渗透油田的开发利用提供了强有力的技术支撑，作为提高采收率的有效技术手段它将得到更广泛的应用。



2 特色技术

1. CO₂ 驱油藏工程技术系列

CO₂ 驱油藏工程技术是以室内机理实验为基础、以精细地质建模为认识地层手段、通过数值模拟了解并预测开发指标，进而实施开发方案优化设计的综合技术。

(1) CO₂ 驱替机理实验技术

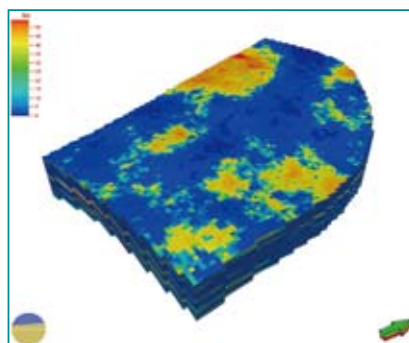
CO₂ 驱替机理实验技术包括：CO₂ 驱混相条件实验技术、CO₂ 驱替特征和驱油效率实验技术。



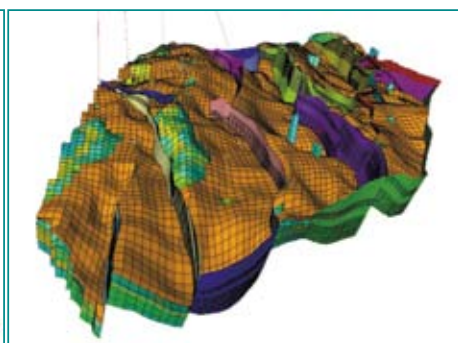
气相色谱仪



细管实验装置



油藏地质模型



含油饱和度场

通过混相条件研究实验，可以确定 CO₂ 驱的最小混相压力，判断油藏条件下能否实现混相；通过驱替特征和驱油效率实验，可以描述 CO₂ 驱油过程中的驱替特征，评价驱油效率，优化驱油方式。

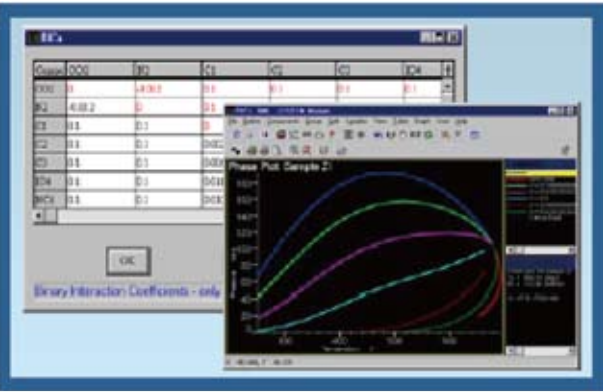
(2) CO₂ 驱精细油藏地质模型建立

CO₂ 驱油藏地质模型是储层特征及非均质性在三维空间上变化和分布的表征。建立精细的三维储层地质模型是 CO₂ 驱油藏描述的核心，是油藏数值模拟工作的基础。

(3) CO₂ 驱数值模拟优化设计

CO₂ 驱油藏数值模拟是随着电子计算机的出现和发展而成长起来的一门学科，在国内外都得到了迅速地发展和广泛的应用。

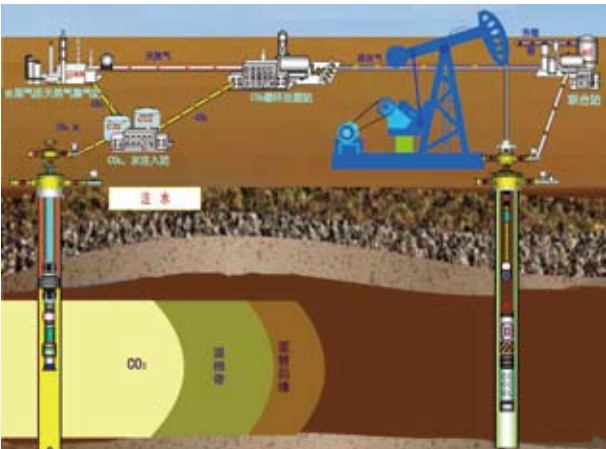
该技术是油气层渗流力学和物化理论的综合应用。考虑了复杂相变和传质作用对注采井筒和储层的影响，可以准确地预测 CO₂ 驱开发指标、识别混相区、分析气驱前缘。



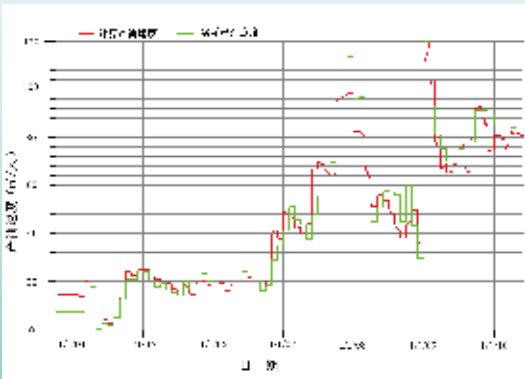
相态实验拟合

2. CO₂ 驱注采工程技术系列

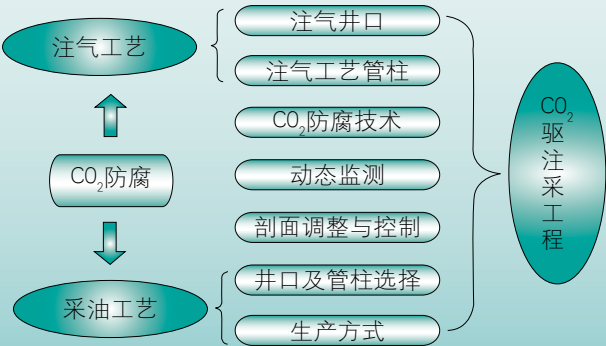
根据注气井和采油井的工况差异，选择耐腐蚀材质和注缓蚀剂组合方法，防止 CO₂ 对井筒及井下工具的腐蚀。加强 CO₂ 驱动态监测，采取剖面调整与控制的措施扩大波及体积，提高低渗透油田动用率和采收率。



CO₂ 驱采油技术示意图



产油速度拟合



CO₂ 驱注采工程技术框架

(1) CO₂ 驱腐蚀与防护技术

CO₂ 驱腐蚀与防护是 CO₂ 驱注采工程的关键技术之一。中国石油开发了 CO₂ 驱防腐固井、CO₂ 驱化学防腐、CO₂ 驱工艺防腐等技术，矿场应用取得了较好效果，腐蚀速率可控制在行业标准之内。

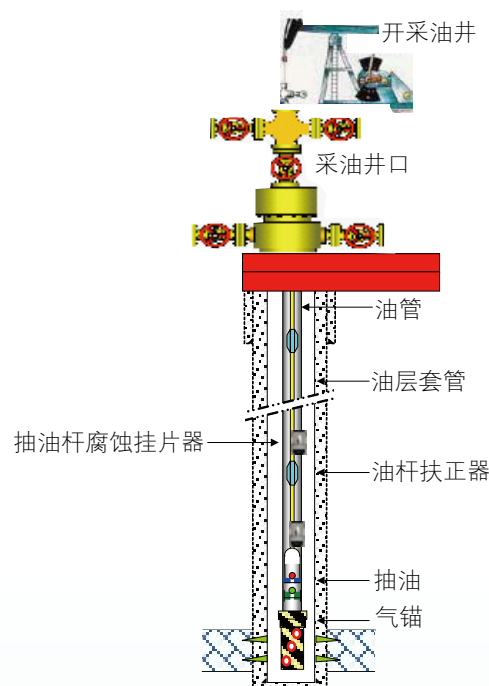
根据 CO₂ 对固井水泥的腐蚀机理，研发了添加剂型抗 CO₂ 固井水泥浆体系，解决了常規水泥浆容易发生淋滤、溶蚀和碳化收缩现象使水泥石孔隙度、渗透性增大和抗压强度降低等问题。

针对 CO₂ 驱注入井、采出井不同水质及工况条件，综合考虑地层水本身腐蚀因素，研发了抗 CO₂ 复合型缓蚀剂体系。形成平衡罐加注、计量泵加注、车载冲击式加注等组合的加药工艺，保障缓蚀剂及时、顺利加注。

(2) CO₂ 驱注气工艺技术

CO₂ 驱注气是利用特殊井口、油管管柱以及一系列井下工具，将 CO₂ 注入到地层中的工艺技术。主要包括 CO₂ 驱笼统注气工艺和 CO₂ 驱分层注气工艺等。

CO₂ 驱笼统注气工艺采用气密封丝扣油管和气密封封隔器，并安装有压力测试装置（专利号：ZL 2009 2 0107814.X）和腐蚀测试装置（专利号：ZL 2009 2 0105975.5）。在注气井不分层段、相同压力系统下向油层中注入 CO₂。

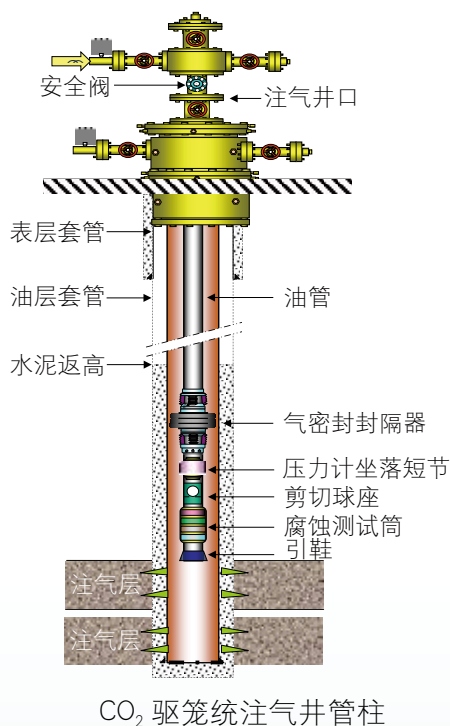


CO₂ 驱采油井防腐技术

CO₂ 驱同心双管分层注气工艺采用两同心管柱，并用封隔器将两油层封隔开，利用中心管向下段油层注气，中心管和油管中间环空向上段油层注气。该工艺适用于含有双油层并且存在层间矛盾的两段注气井分层注气。

(3) CO₂ 驱采油工艺技术

CO₂ 驱采油方式主要有管式泵机抽采油、自喷采油、自喷与杆式泵机抽一体化采油三种采油方式。



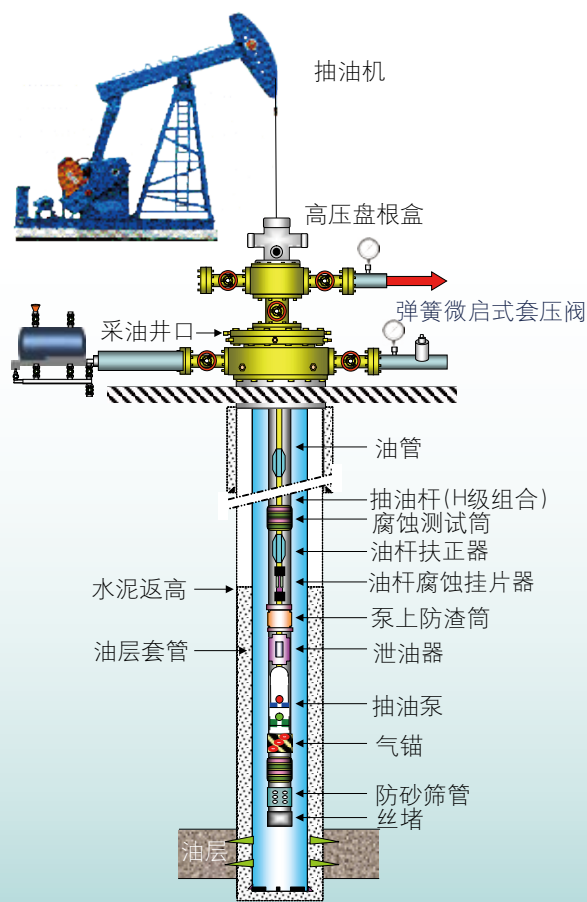
CO₂ 驱笼统注气井管柱

管式泵机抽采油工艺是指在常规机抽采油工艺基础上，配套了套压控制装置、井下腐蚀及压力监测工具。关键部件使用耐腐蚀不锈钢材质，采用环空加注缓蚀剂进行防腐。这种工艺实现了 CO₂ 腐蚀环境下正常采油和资料录取，保证长期安全生产。

自喷与杆式泵机抽一体化采油工艺考虑 CO₂ 驱见效后自喷采油和防腐需要，泵下安装封隔器，在封隔器以上添加环空保护液或在油管内投放固体缓蚀剂的方式进行防腐。管柱既

能实现自喷生产，又能在自喷能量不足时通过杆式泵进行机抽生产。

该工艺主要适用 CO₂ 驱见效后油气比高、压力高，并且能够实现自喷但连续性不好的采油井。



管式泵机抽采油工艺管柱

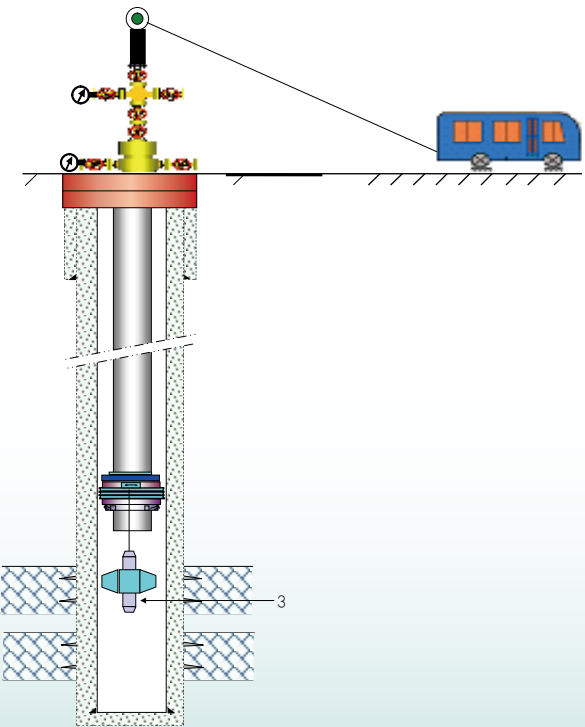
(4) CO₂ 驱监测技术

CO₂ 驱监测是对 CO₂ 驱注采井压力、温度、流量、吸气状况、CO₂ 驱前缘等进行监测的技术，是了解 CO₂ 驱油效果的重要手段。

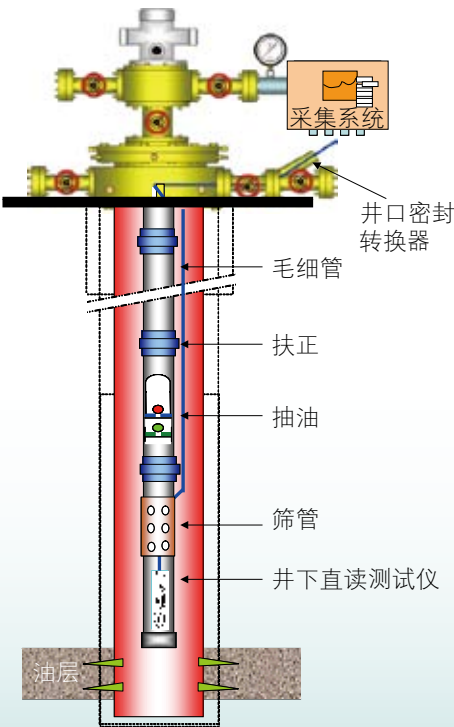
吸气剖面测试技术是指在注 CO₂ 过程中，测试不同注气层位的注气状况。该技术利用试井钢丝或电缆起下存储式吸气剖面测试仪，通过磁定位技术校正深度，测试仪可以精确测量 CO₂ 流量，温度及压力等参数。通过测试资料

解释得到各小层吸气量及油层段吸气剖面等数据。

井下直读式压力监测技术是针对长期实时监测注气井井筒压力和采油井井底流压的需要，将井下压力测试工具用电缆下入到井筒，通过数据电缆将压力计信号传送至地面接收装置，从而实时掌握井下压力状况。测试工艺充分考虑 CO₂ 防腐需要，井下工具采用防腐材质，电缆通过不锈钢毛细管下入。



吸气剖面测试工艺



井底压力实监测工艺

(5) CO₂ 驱剖面调整及控制技术

注 CO₂ 驱油过程中，由于储层物性差，非均质性强，导致气体过早突破，为此，研发了一系列剖面调整与控制技术，延缓油井见气时间，控制流压，保证混相驱替，提高 CO₂ 驱油效果。

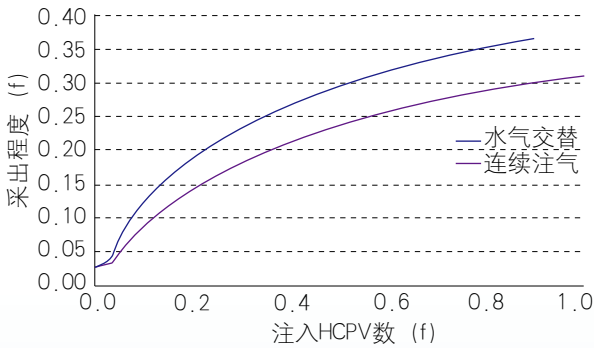
① 水气交替技术主要是注水和注气交替进行，降低水相渗透率，从而降低水的流量，改善油水流量比，扩大波及体积，提高采收率。

② 泡沫扩大波及体积技术主要是发泡剂与

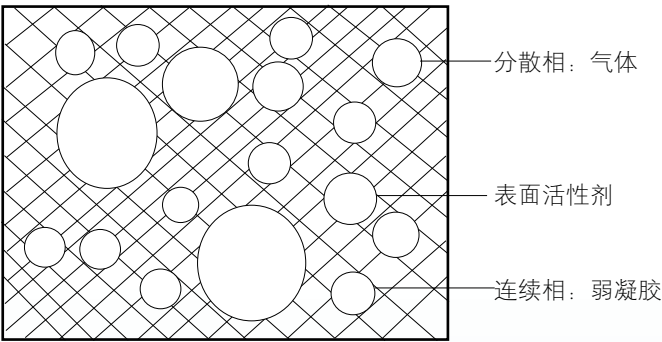
气体交替注入，在地下充分发泡。利用泡沫体系堵高不堵低的特点，对层内非均质油藏进行调堵，启动低渗部位剩余油。

③ 酸性聚合物凝胶体系主要是利用耐温聚合物与交联体系进行复配，在油藏条件下成胶，成胶强度高，耐温、耐酸稳定性好。

④ 泡沫凝胶是气、液两相形成的均匀泡沫，具有很好的稳定性，泡沫外壁液膜上胶凝剂的作用使泡沫壁韧性增强，形成泡沫状凝胶体系，利用泡沫与凝胶的双重封堵机理实施封堵。



采出程度和注入 HCPV 数的关系



泡沫凝胶体系

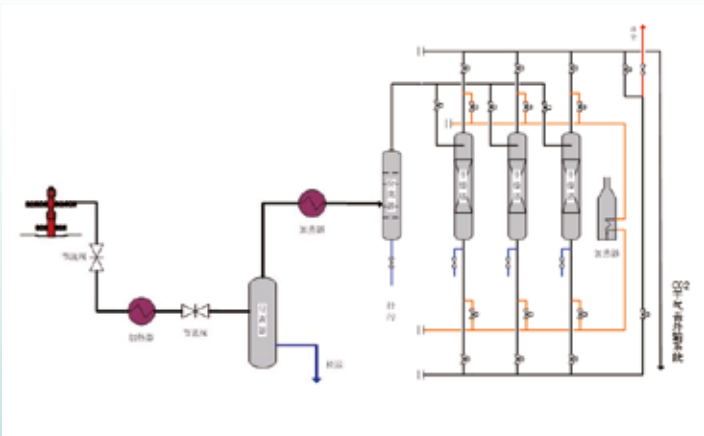
3.CO₂ 驱地面工程技术系列

以满足 CO₂ 驱油规模开发和试验为目的，形成以 CO₂ 气相管道输送、CO₂ 液相注入工艺为主的地面工程技术。

经现场试验和方案优化，形成 CO₂ 气田气集气、脱水、CO₂ 气相管道输送、液化、储存、液相注入、地面系统腐蚀防护等多个单项技术，可满足大规模 CO₂ 驱开发地面工程设计需要。

(1) CO₂ 气相管道输送技术

通过管道首末端气体工艺参数的控制，使整个输送过程 CO₂ 全部处于气相状态。主要用于处理和输送 CO₂ 气田气。



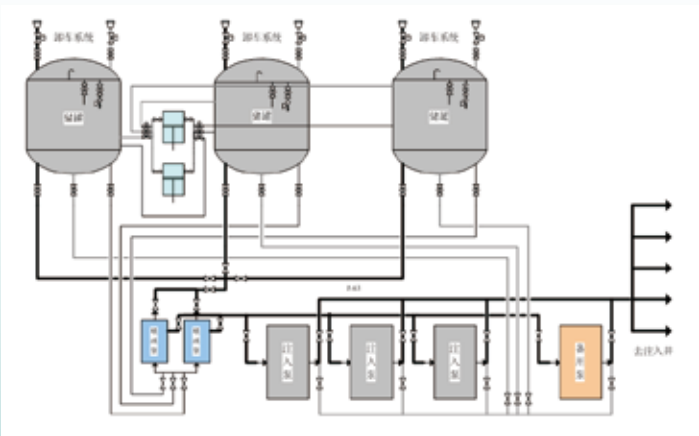
CO₂ 单井集气脱水流程示意图

在方案设计过程中，利用软件模拟计算不同流量、温度、压力下 CO₂ 气体的流动状态，选择技术经济最优的集气输送方案和脱水方案，保证气相连续输送，并辅以防腐和监控措施，保证输送安全。

(2) CO₂ 液相注入技术

专门针对油藏工程超高压需求而研究的泵注工艺。具有注入压力高、适应不同油藏规模、工艺设备技术成熟、安全性能可靠等优点。

中国石油研发的 CO₂ 液相注入技术包括 CO₂ 气体液化、液相储存、高压注入等工艺，满足水气交替注入，其低温保冷、现场施工技术研究成熟，现已建成 2 座 CO₂ 液化站，2 座 CO₂ 液相注入站，实现 24 个井组顺利试注。



CO₂ 液相注入工艺流程示意图

3

典型案例

吉林油田黑 59 区块重大开发试验取得成功

黑 59 试验区共有油气井 31 口，其中注气井 6 口，采油井 25 口。试验区实施注气前，进行了室内机理、地质、油藏、注采和地面工程等研究，确定了优化的油藏工程方案和实施方案。

在 CO₂ 集输方面，应用了气体输送技术和液化注入技术，建成 1 座液化注入站。在注采

技术方面，设计了 31 口注、采井防腐管柱和环空添加缓蚀剂的防腐工艺，通过对注、采井监测，得到防腐腐蚀速率低于 0.076mm/a 的理想效果。

区块于 2008 年注气，一年后区块即表现出明显的混相驱的动态特征，平均单井日产油量比水驱预测提高 30% 以上，预测最终提高采收率 10% 左右。



黑 59 液化注入站



注入站内

4

科研装备

1. 油藏工程实验室

依托中国石油勘探开发研究院提高采收率国家重点实验室的技术力量，建立了完备的CO₂油藏工程技术体系。拥有：

实验设备：长岩心驱替系统、高压相态仪、高压界面张力仪、高压固相沉淀测试系统。

硬件设备：ThinkStation S20 工作站及其他高性能计算机 10 多台套，主要用于 CO₂ 驱油藏地质建模和数值模拟研究。

应用软件：Petrel Workflow Tools 油藏地质



CO₂ 防腐实验室



高温高压釜

建模软件，Eclipse 组分模型数值模拟一体化软件包。

2. CO₂ 腐蚀与防护实验室

拥有高温高压实验室、理化实验室、电化学实验室和 CO₂ 腐蚀监测实验室等 CO₂ 防腐实验室 4 个。

具备模拟地层高温高压腐蚀、缓蚀剂筛选评价、电化学腐蚀评价、电藕腐蚀速率评价、超声波测厚、腐蚀产物金属成分分析、腐蚀形貌分析评价和缓蚀剂残余浓度检测等实验和分析能力。



高压相态仪



长岩心驱替装置

5

资质与标准

1. 油气田注二氧化碳安全规程, SY 6565
2. 低渗透油藏 CO₂ 驱动态监测资料录取内容及要求
3. 砂岩油田 CO₂ 驱开发方案编制规范
4. 二氧化碳驱 HSE 技术要求
5. 二氧化碳驱注采井完井技术要求
6. 二氧化碳驱井下作业技术规范
7. 二氧化碳驱注采井防腐技术要求
8. CO₂ 驱注入工程设计规范
9. CO₂ 气相管道输送设计规范
10. CO₂ 驱油气集输设计规范
11. CO₂ 驱自动化仪表选型设计规范
12. CO₂ 驱选材设计规定
13. CO₂ 驱钢质管道聚乙烯粉末内防腐层技术规范
14. 二氧化碳驱生产维护技术要求
15. 二氧化碳驱注采钻井技术规范

6

专家团队



沈平平 教授级高级工程师，博士生导师，享受政府特殊津贴专家，长期从事 CO₂ 驱提高石油采收率基础研究。“中国温室气体提高石油采收率的资源化利用及地下埋存”首席科学家。

Email : spp@petrochina.com.cn

TEL : 010-83597407



宋新民 教授级高级工程师，博士生导师，高级技术专家。“吉林油田含 CO₂ 天然气开发和 CO₂ 埋存及资源综合利用研究”项目长。

Email : sxm@petrochina.com.cn

TEL : 010-83598035



王 峰 教授级高级工程师，高级技术专家。获国务院政府特殊津贴和孙越琦青年科技奖奖励。“吉林油田含 CO₂ 天然气开发和 CO₂ 埋存及资源综合利用研究”副项目长。

Email : w-feng@petrochina.com.cn

TEL : 0438-6258012



刘运成 油气田开发高级技术专家。主持多项含 CO₂ 天然气开发和 CO₂ 驱项目。

Email : liuyc-jl@petrochina.com.cn

TEL : 0438-6224666



刘长宇 高级工程师，CO₂ 驱注采工程技术专家。长期从事 CO₂ 驱注采工艺和 CO₂ 防腐技术研究和现场应用工作。承担和完成多项国家重大研究课题。

Email : liucyu@petrochina.com.cn

TEL : 0438-6336590



孙锐艳 教授级高级工程师，高级技术专家。长期从事 CO₂ 驱地面工艺技术研究。承担和完成多个重大研究课题。

Email : sjyldsry@petrochina.com.cn

TEL : 0438-6259705



秦积舜 教授，博士生导师，高级技术专家，长期从事 CO₂ 驱油的应用基础研究工作。承担并完成了国家重大研究课题。

Email : qinjs@petrochina.com.cn

TEL : 010-83593019



李亚洲 高级工程师，CO₂ 驱注采工程技术专家。主持完成多项压裂、注水和采油工程研究。主持 CO₂ 驱重大开发试验项目矿场试验。

Email : liyz@petrochina.com.cn

TEL : 0438-6223900



联系人：刁顺 先生
电 话：59986059
Email: sdiao@cnpc.com.cn

Contact: Mr. Diao Shun
Tel: 59986059
Email: sdiao@cnpc.com.cn

