延长石油CCUS项目进展与展望

高瑞民

中国 陕西延长石油（集团）有限责任公司

2014年 06月

陕西延长石油(集团)有限责任公司
SHAANXI YANCHANG PETROLEUM(GROUP)CO.,LTD.

交流提纲

一、延长石油集团概况

二、开展CCUS背景与优势

三、项目技术研究进展

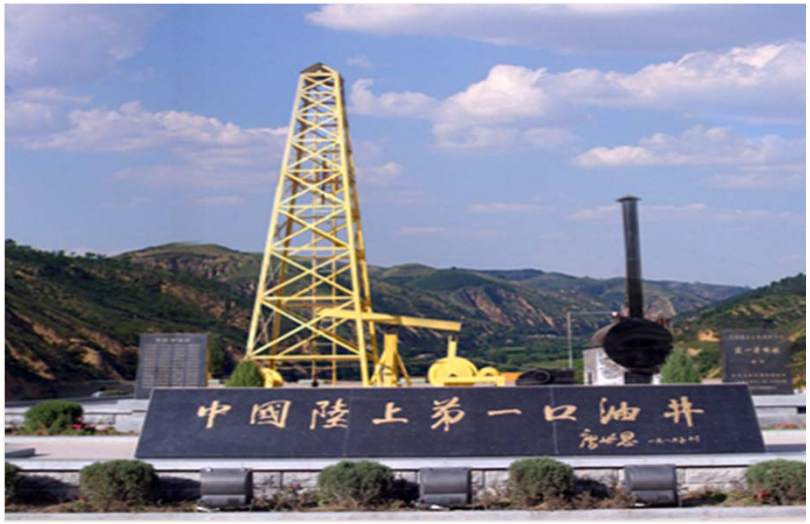
四、矿场实践应用情况

五、后期规划与研究方向

一、延长石油集团概况

公司发展：陕西延长石油（集团）有限责任公司是中国拥有石油、天然气勘探开采资质的四家企业之一，是中国陆上第一口油井的诞生地，至今已走过109年发展历程，为中国石油工业发展做出了重要贡献。

业务范围：延长石油业务涉及油气探采、加工、储运、销售，矿业开发、能源化工、装备制造、工程设计与建设、技术研发和金融保险等。



油气田勘探

油气田开发

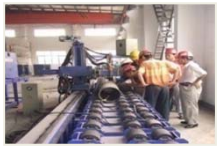
石油炼制

管道运输

油气化工

煤矿开采

油气煤盐化工


装备制造

工程建设

科研与设计

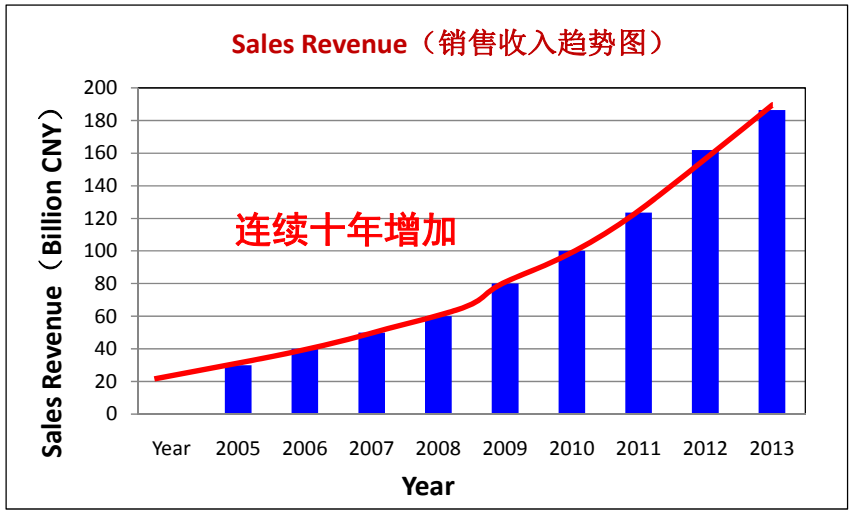
太阳能产业

金融保险

一、延长石油集团概况

企业效益： 2013年生产原油1254.4万吨，加工原油1403万吨；实现营业收入1865亿元，进入世界企业500强。

企业资源：延长石油地处鄂尔多斯盆地，拥有25亿吨石油，3300亿方天然气，150亿吨煤炭探明储量。



公司目标与价值：2020年进入世界300强，收入5000亿元，建成世界一流的综合性能源化工企业。

二、开展CCUS的背景与优势

背景：

◆ **企业义务：**落实中美应对气候变化战略合作的具体行动，是对中国政府应对全球气候变化的有力支撑；

◆ **企业责任：**延长石油与油田紧邻的煤化工产业产生大量高浓度二氧化碳，把新型清洁煤化工技术与油田EOR有机结合，是实现二氧化碳减排的有益探索。

◆ **企业发展：**作为油气煤盐综合发展的企业，延长石油在实现碳减排的同时，实现特低渗油藏采收率提高，保障了油田稳产及陕北地方经济可持续发展；

◆ **问题解决：**陕北地区水资源匮乏、环境脆弱亟需保护，CCUS是陕北缺水地区保护环境的有效手段，是延长走环境保护可持续发展的必然选择。

通过开展CCUS项目，将**“碳捕集—提高油田采收率—碳封存—碳减排”**融为一体，是延长石油**实现温室气体减排和产业可持续发展**的必然选择。

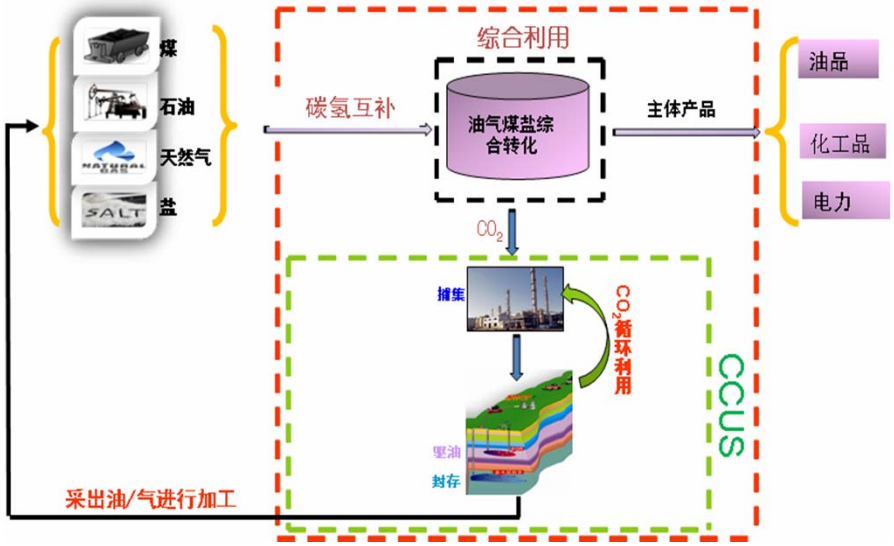
二、开展CCUS背景与优势

优势：

延长石油在同一地域拥有煤、油、气，为开展一体化CCUS工作奠定了基础。

1、煤、油、气资源综合利用，从源头实现节能减排

延长石油拥有丰富的煤、油、气资源，通过综合利用，实现碳氢互补，把传统煤化工技术和油气化工技术创新结合，大幅度减少CO_2排放，提高了能源利用效率。



二、开展CCUS背景与优势

2、CO_2气源与运输成本低并实现就地埋存

◆延长石油煤化工产业排出的CO_2浓度高，捕集装置采用低温甲醇洗和胺吸收技术结合，具有投资少，成本和能耗低的优势，目前在建和运行的CO_2捕集装置吨成本低于100元，相当于18美元；

◆油田和煤化工厂处于同一地域，CO_2运输成本低。

3、CO_2提高采收率技术应用广泛

◆延长油田属于特低渗透油藏，油田采收率低，CO_2驱油可提高采收率，保证油田长期稳产，且EOR效益可弥补CCS的成本；

◆陕北地区水资源匮乏，用CO_2驱油代替注水开发可节约大量水资源。

4、CO_2压裂具有技术优势和大量需求

◆ 大量油气井和页岩气井投产需要压裂；

◆ CO_2压裂返排率高，用水量少，使初期产量大幅度提高。

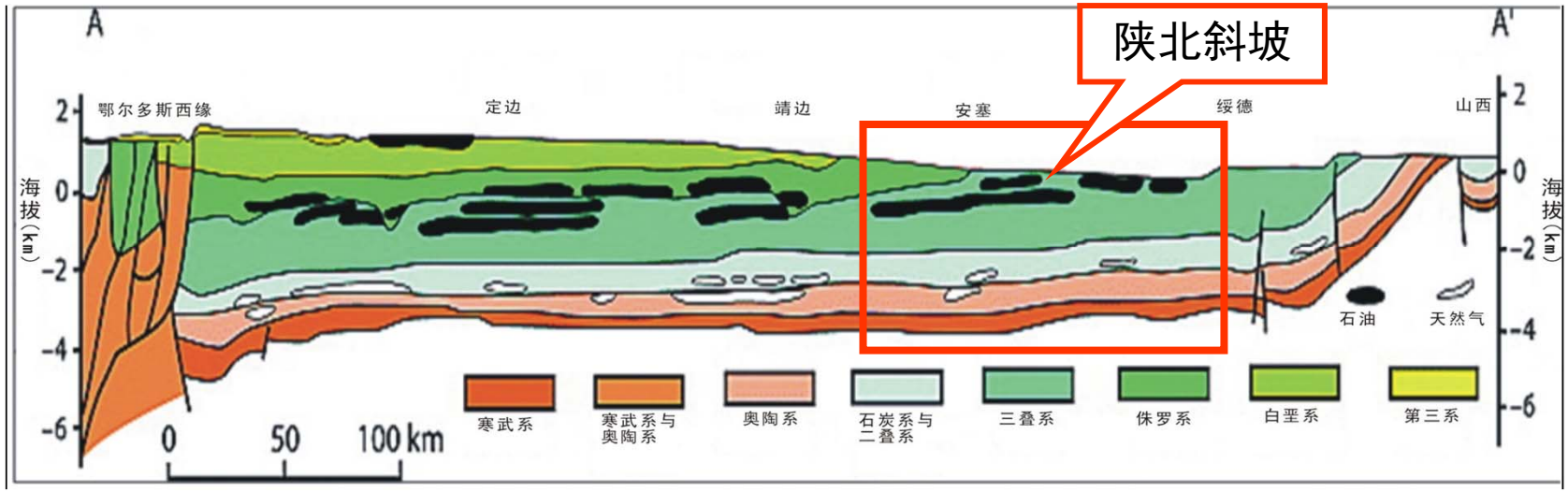
二、开展CCUS背景与优势

5、有稳定的地质构造和充足封存空间

◆陕北斜坡地层稳定，构造简单，断层不发育，CO_2封存安全可靠，是我国陆上实施CO_2地质封存最有利地区之一；

◆有大量需要提高采收率的油藏和盐水层封存CO_2，初步估算，盆地内油藏CO_2封存量达5-10亿吨，盐水层封存量达数百亿吨；延长油田可封存$CO_2$1.8亿吨。

◆地层压力、温度有利于CO_2保持超临界状态，实现永久封存。



二、开展CCUS背景与优势

6、国家支持，企业重视，国际合作

◆国家大力支持：延长石油CCUS工作获得国家发改委和科技部支持，先后启动了“中-澳CCUS一体化国际合作示范”、“国家科技支撑计划” 和“863计划”。

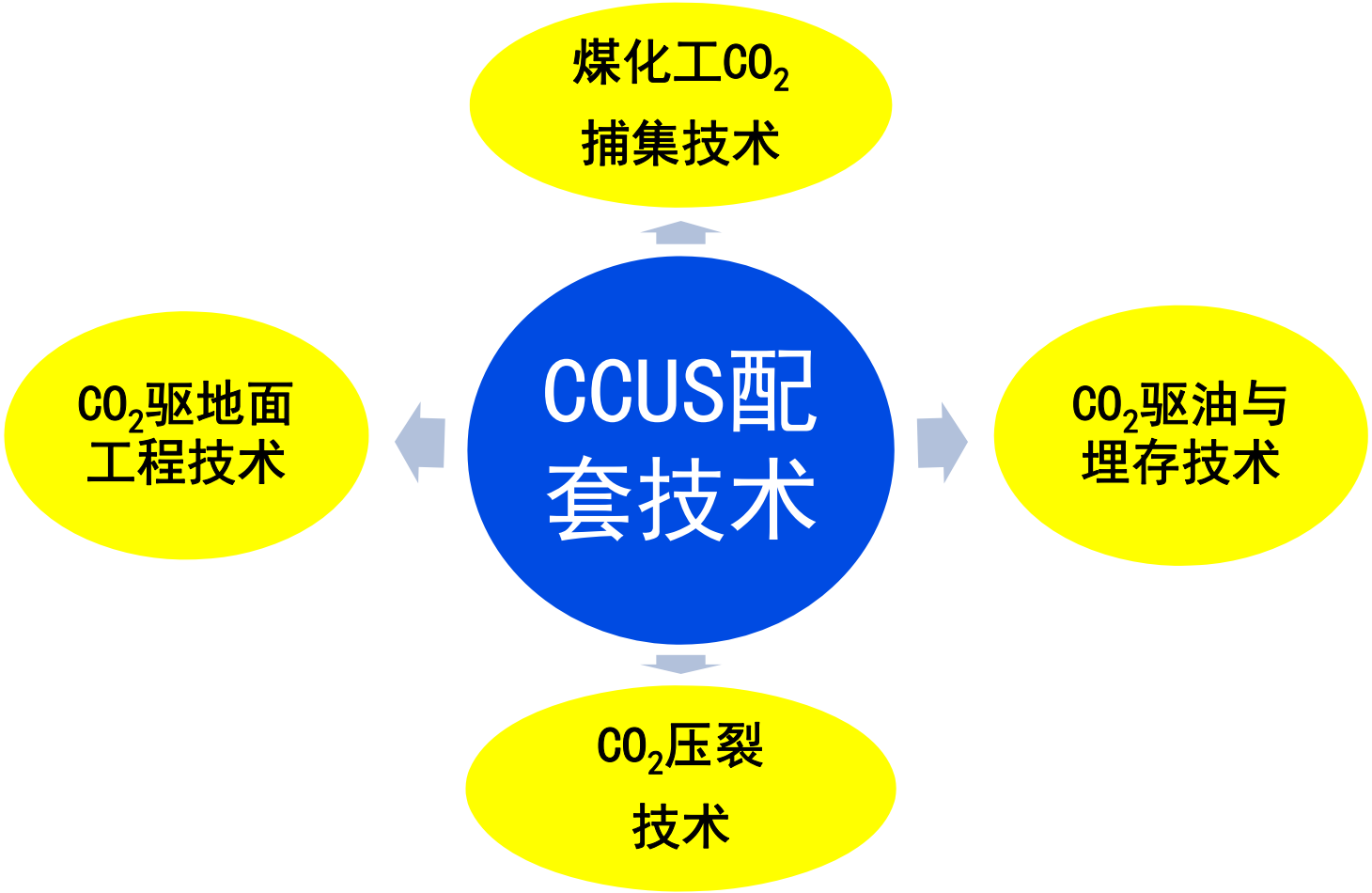
◆企业高度重视：延长石油高度重视CCUS工作，成立了项目实施领导小组，并投入配套资金3亿元。

◆国际广泛合作：加入中美清洁煤技术联盟，与全球碳捕集研究院、美国怀俄明大学、西弗吉尼亚大学、加拿大里贾纳大学、美国空气化工产品公司建立CCUS合作机制。

年份	来源	项目
2007	国家科技支撑计划	低(超低)渗透油藏气驱提高采收率技术研究(川口)
2010	集团公司	延长油田CO_2驱提高采收率配套技术研究(3亿)
2011	国家科技支撑计划	陕北煤化工CO_2捕集、埋存与提高采收率技术示范
2012	国家高新技术研究发展计划（863计划）	燃煤电厂烟气CCUS关键技术
2013	澳大利亚碳捕集封存研究院	中-澳CCUS一体化国际合作示范项目
2013	陕西省科技统筹创新工程计划	陕北CO_2驱提高采收率关键技术及现场先导试验
2014	集团公司	陕北地区CO_2驱油、压裂先导试验

三、项目技术研究进展

自2007年以来，在国家科技项目、国际合作项目和集团重大专项的支持下，开展了CO_2捕集、驱油与埋存四项技术研究。



1、煤化工CO_2捕集技术

（1）研发了一套CO_2捕集多功能中试试验装置

针对低浓度CO_2（20%左右）或者采出气重新捕集、分离、提纯再利用而开发了一套CO_2捕集多功能中试试验装置。

参数指标：

CO_2处理能力 200kg/d；

捕集能耗1.084GJ/t；

技术特点：

工艺相对简单、安全系数高、能耗低、设备稳定性高、投资成本低、得到二氧化碳产品纯度高。

1、煤化工CO_2捕集技术

（2）研发出3项CO_2捕集工艺技术

◆针对现有延长石油集团煤化工排放的纯度高（大于80%） CO_2尾气 ，开发出CERI低温甲醇洗工艺技术，通过闪蒸的方式，对不含硫化氢的富CO_2甲醇富液进行分离提纯。

◆针对含硫的富CO_2甲醇富液，开发出HNU1低温甲醇洗工艺技术，通过多级闪蒸、压缩、干燥脱水等途径，进一步提高CO_2捕获的产能和降低单位捕获能耗。

◆针对油田的伴生气，开发一套油田采出气氨吸收法CO_2分离工艺技术，对油田采出气中的CO_2进行分离提纯。

技术名称	产量 (t/h)	CO_2纯度 (%)	系统能耗 (GJ/t CO_2)	传统捕集能耗 (GJ/t CO_2)	冷却水 (t/h)
CERI工艺	8.5	99.6	1.24	2.85	134.46
HNU1工艺	22.2	99.6	0.62	2.70	135.5
伴生气CO_2捕集工艺	11.09	86	1.08	1.25	

2、CO_2驱油与埋存技术

(1) 建立延长石油CO_2驱油与埋存油藏筛选标准

综合考虑地质、流体、开发因素、采收率变化以及油气比等多种因素，提出了延长油田CO_2驱油与埋存油藏筛选标准，评价了延长油田CO_2驱油与埋存的适宜性。

油田名称	区块内总油藏数	适合CO_2驱油藏	不适合CO_2驱油藏	适合CO_2驱油藏数目占比	总地质储量($\times10^4$t)	适合CO_2驱储量($\times10^4$t)	不适合CO_2驱储量($\times10^4$t)	适合CO_2驱油藏储量占比
杏子川	13	12	1	0.92	10685	10495	190	0.98
靖边	15	14	1	0.9333	12340.5	12071	269.5	0.97816
永宁	5	4	1	0.8	25315.5	24727.33	588.2	0.97677
西区	3	3	0	1.00	12011.9	12011.87	0	1.00
七里村	8	1	7	0.13	12691	1934	10757	0.15
瓦窑堡	16	11	5	0.6875	13923.9	11141.7	2782	0.80019
……								
total	**178**	**150**	**28**	**0.84**	**219138**	**176274.1**	**42864**	**0.80**

2、CO_2驱油与埋存技术

（2）形成延长石油CO_2驱油与埋存潜力评价方法

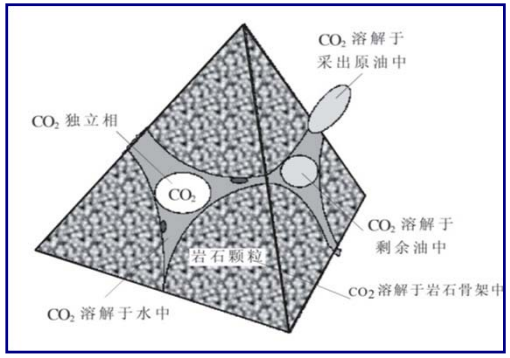
油藏CO_2埋存量计算模型

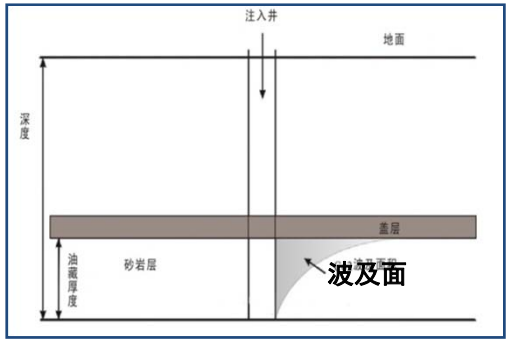
物质平衡

- CO_2在原油中溶解度计算模型
- CO_2在地层水中溶解度计算模型
- 关井条件下CO_2在油藏中埋存量的计算模型

油藏CO_2埋存驱油潜力评价模型

- CO_2混相驱驱油潜力评价模型
- CO_2非混相驱驱油潜力评价模型





序号	油藏代码	地质储量(10^4t)	埋存量(10^4t)	提高采收率幅度(%)	CO_2利用系数	CO_2埋存系数
1	化子坪区-长2层	1015	265.63	6.99	0.27	0.26
2	乔家洼-长6	931	209.87	4.03	0.18	0.23
3	永宁油区-长6	1333.69	357.41	10.83	0.40	0.27
4	义吴-长4+5、长6	4754.79	1207.39	9.85	0.39	0.25
5	定边--延10	424	145.83	10.83	0.31	0.34
6	郭旗西区-长61	3110	769.90	8.67	0.35	0.25
7	直罗-埝沟-长2	240	62.42	7.43	0.29	0.26
8	南区-湫沿山-长6	278.6	62.80	10.52	0.47	0.23
9	吴起-油沟-长4+5	801	194.25	8.58	0.58	0.56
10	英旺-庙湾-长8	454.41	156.29	5.51	0.16	0.34
11	横山-魏家楼-长6	430.56	97.06	5.65	0.25	0.23
12	中山川-长6	8316.2	2162.91	4.56	0.18	0.26

2、CO_2驱油与埋存技术

（3）建立CO_2驱油藏工程方法与实验评价体系

◆形成了适合延长特低渗油藏CO_2气驱的油藏工程方法

开发地质：刻画储层非均质特征和分布规律，建立精细油藏模型。

油藏评价：量化低渗透油藏产能特征、油水关系、开发特征。

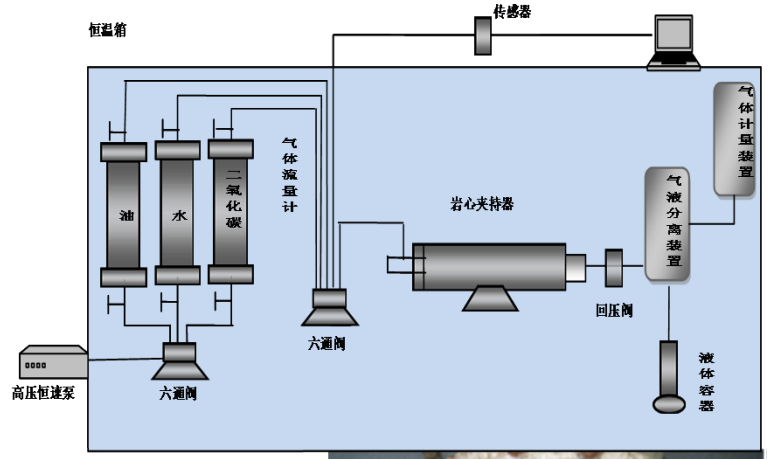
油藏数值模拟：建立吴起和靖边三维地质模型。

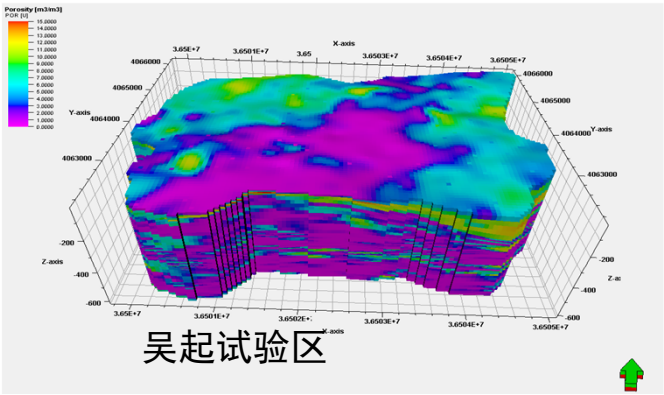
◆建立特低渗透油藏CO_2驱油实验评价技术体系：

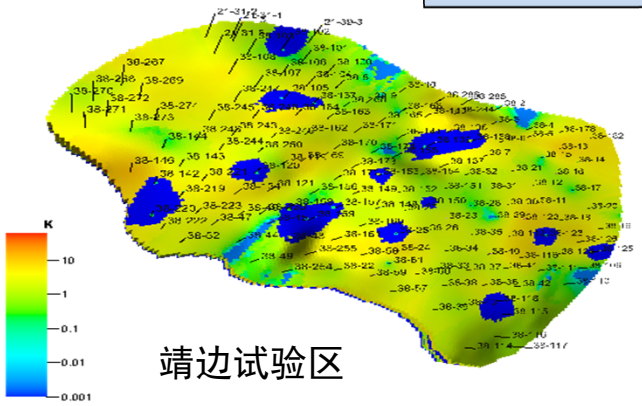
可进行非均质性控制

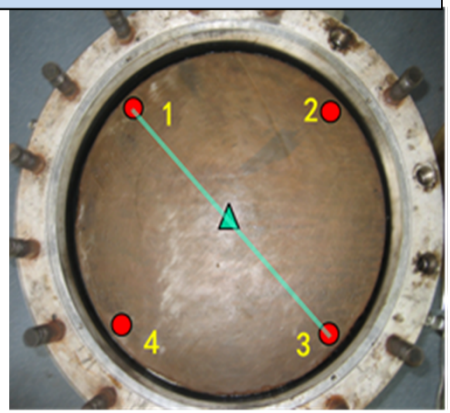
开展了超长岩心驱替实验

建立了径向低渗大型物理模型




吴起试验区


靖边试验区



2、CO_2驱油与埋存技术

（4）形成CO_2驱配套工艺和防腐技术

◆注入井配套工艺

注入井井口装置及管柱优化

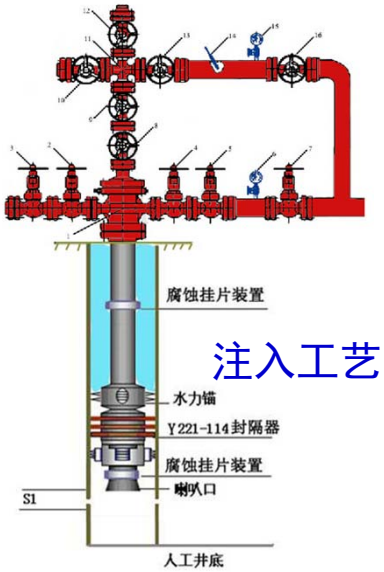
井口、油管及封隔器优选

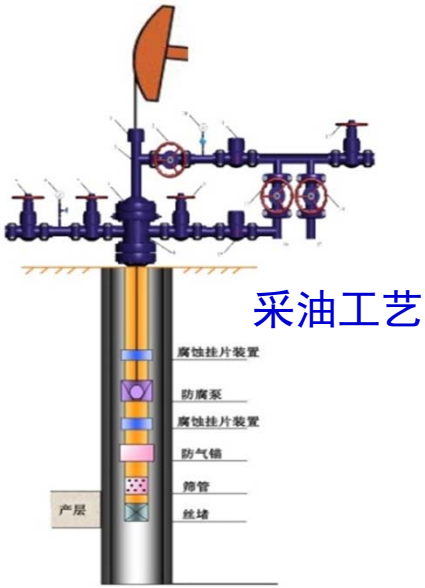
◆采油井配套工艺

改进采油井口装置

优选择采油井机、杆、泵

优化油井管柱和杆柱设计

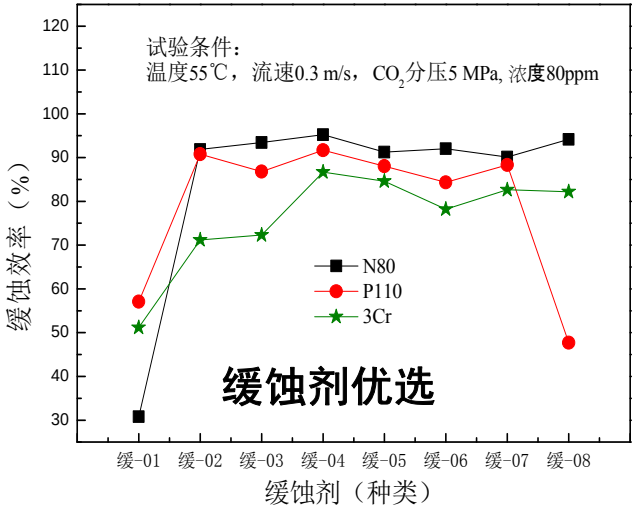


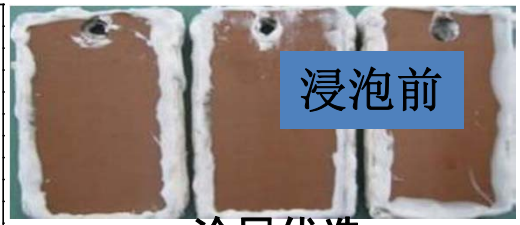


◆防腐技术研究

注入井采取碳钢+封隔器+油套缓蚀剂的技术路线

CO_2采出井综合防腐措施重点放在碳钢+缓蚀剂





涂层优选

2、CO_2驱油与埋存技术

（5）研发了CO_2驱油扩大波及体积技术

◆初期采用水气交替法扩大CO_2波及体积——水气交替法

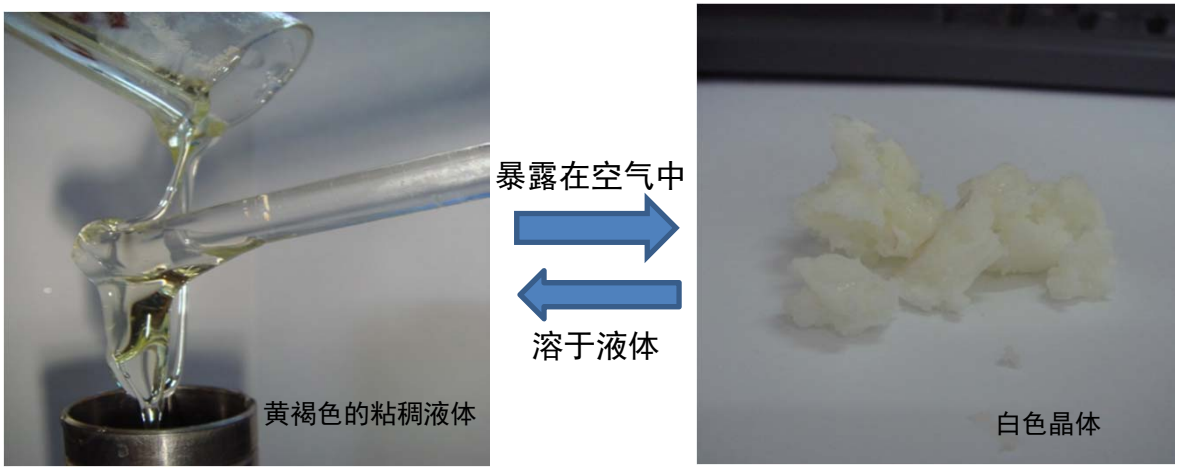
◆封堵CO_2在裂缝中窜逸通道——改性淀粉封窜

特点：成胶后的强度很高，且置于高压CO_2环境下体系的性能保持稳定，不受高压气体的影响。

◆封堵CO_2驱过程中高渗窜流层——小分子胺封窜

机理：小分子有机胺初始粘度低，进入低渗透层CO_2气窜通道，与CO_2生成盐，封堵窜流通道。

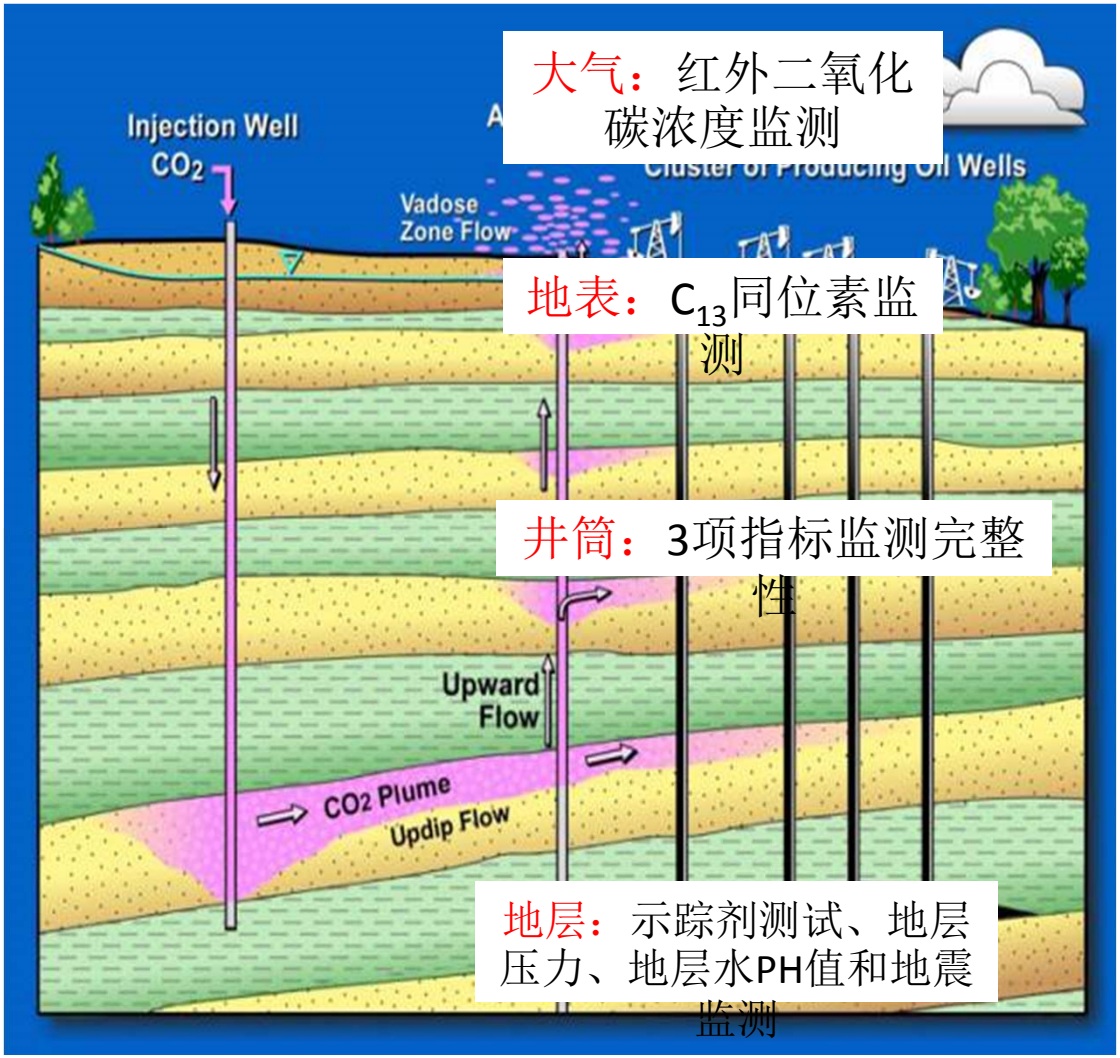
改性淀粉成胶后粘度高



小分子有机胺与CO_2生成盐，封堵窜流通道

2、CO_2驱油与埋存技术

(6) CO_2安全监测技术研究



大气：红外二氧化碳浓度监测

地表：C_{13}同位素监测

井筒：3项指标监测完整性

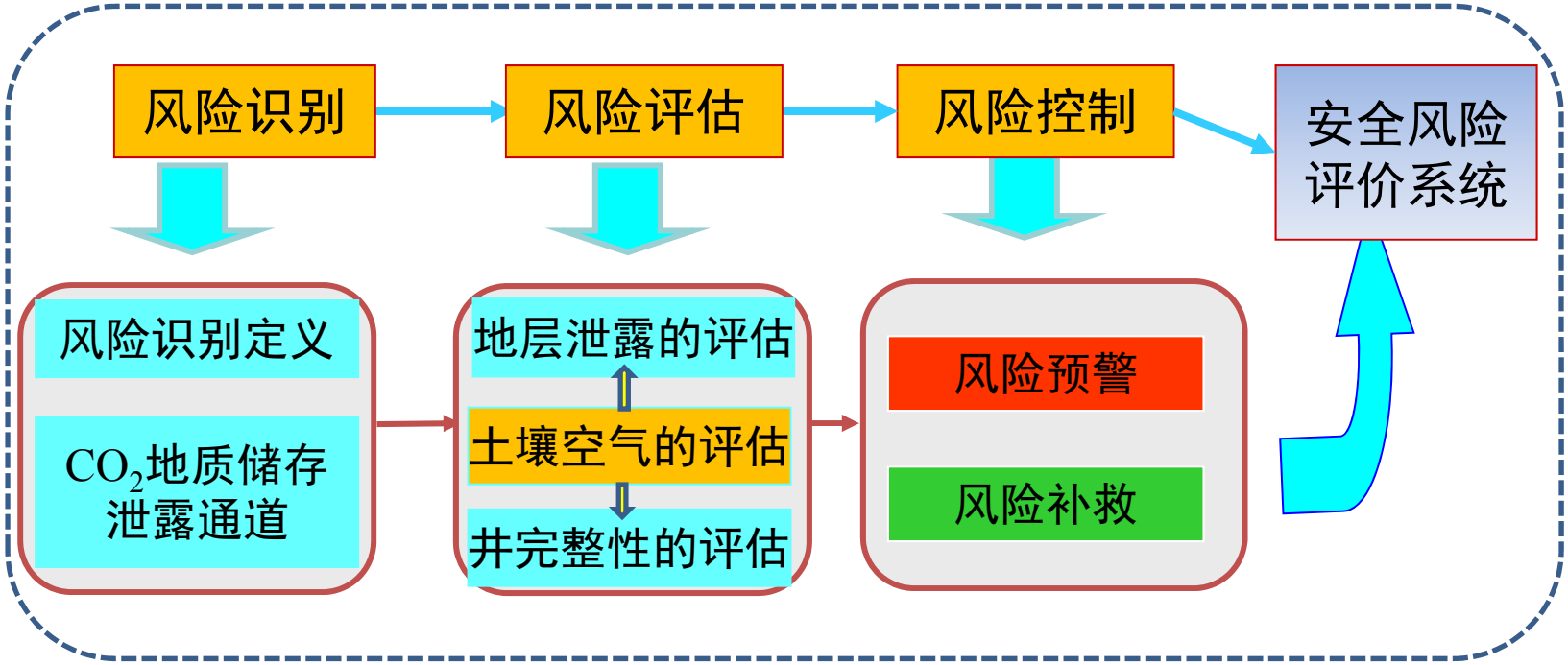
地层：示踪剂测试、地层压力、地层水PH值和地震监测

监测项目		监测间隔
注入井	注入参数（注入量、压力、温度）	1次/旬
油井	生产动态	1次/日
	动液面	1次/旬
	伴生气CO_2浓度	1次/旬
	压力监测井监测	在线直读
	原油组分	1次/季
	产出剖面	2次/年
	静压	2次/年
	地层水水质	1次/月
	腐蚀速率	据具体情况
地层	示踪剂	
	地层压力	
	地层水PH	
	地震监测	
地表	大气CO2浓度	1次/半年
	土壤气C_{13}监测	1次/年
	植物生长状况	1次/半年

2、CO_2驱油与埋存技术

（7） 建立了CO_2地质埋存安全风险评价和预警的方法流程

明确了预警计算流程，确定了预警结果形式

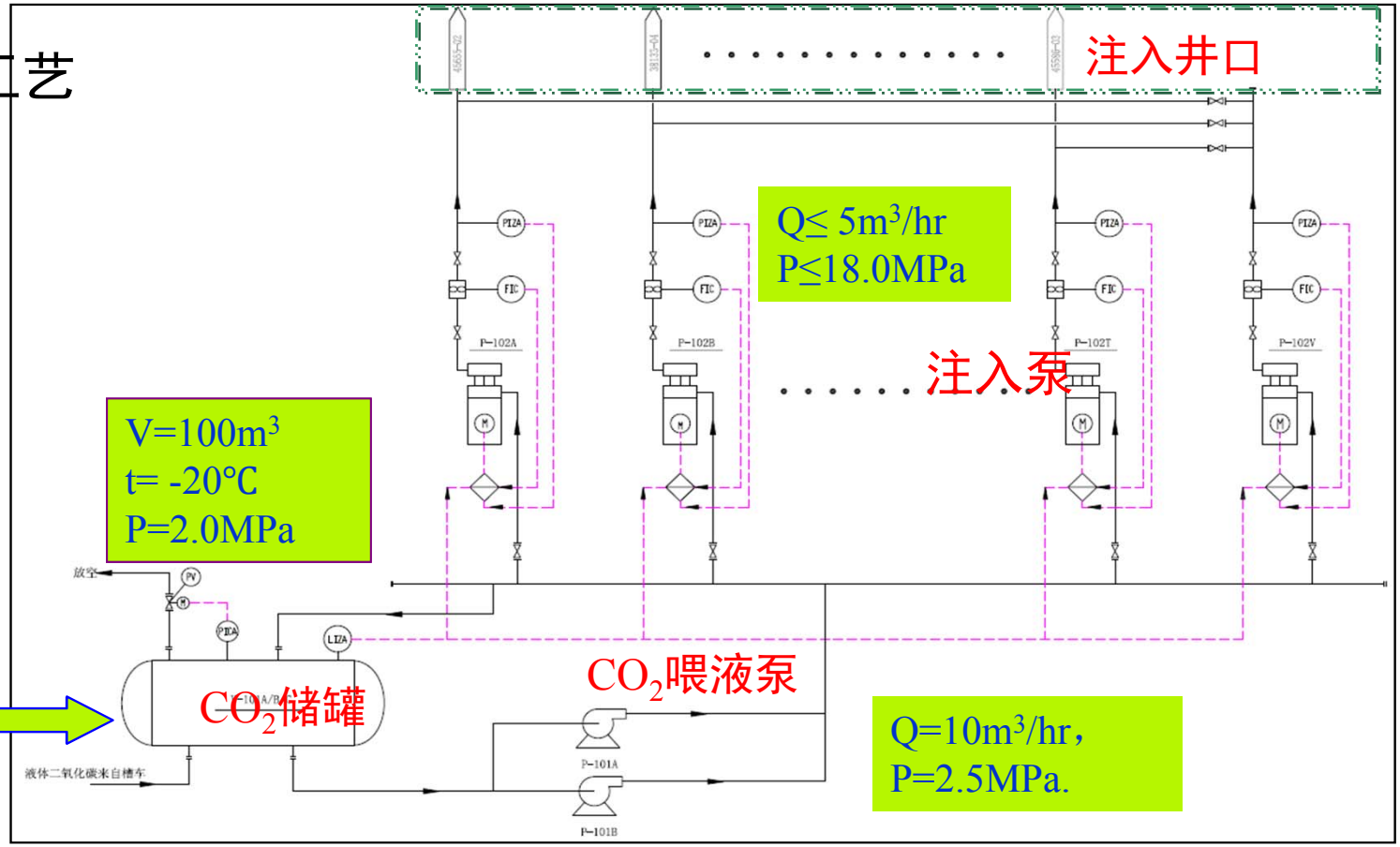


3、CO_2驱地面工程技术

（1）完成撬装式的CO_2驱地面注入工艺流程研究并实现矿场应用

井场注入流程：槽车→储罐→喂液泵→注入泵→注入井口

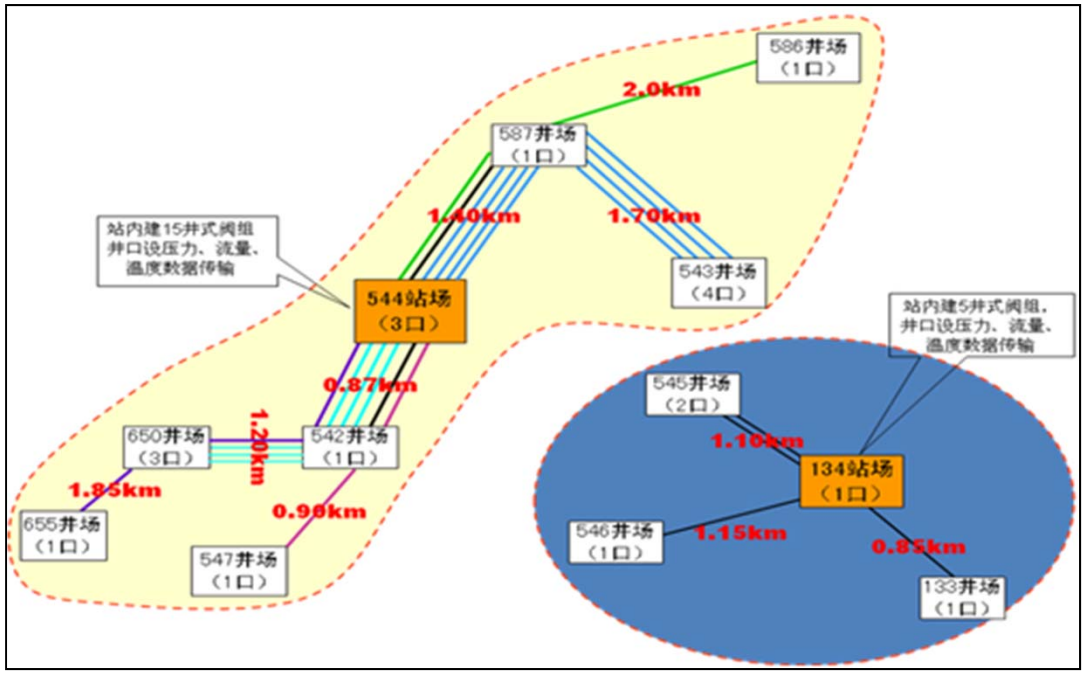
CO_2注入站工艺



CO_2槽车

3、CO_2驱地面工程技术

(2) 完成靖边CO_2驱地面注入工艺整体设计研究



- CO_2注入站2座，设计规模600m³/d；
- 新建道路2条，总长3km；
- 单井注入管线20km;

1#站：位于45544站场

CO_2储罐：V=100m³(4座)；
喂液泵：4台（2用2备）；
注入泵：6台CO_2（4用2备）；
满足15口井注入。

2#站：位于38134站场

CO_2储罐：V=100m³（2座）；
喂液泵：2台（1用1备）；
注入泵：3台CO_2（2用1备）；
满足5口井注入。

4、CO_2压裂技术研发

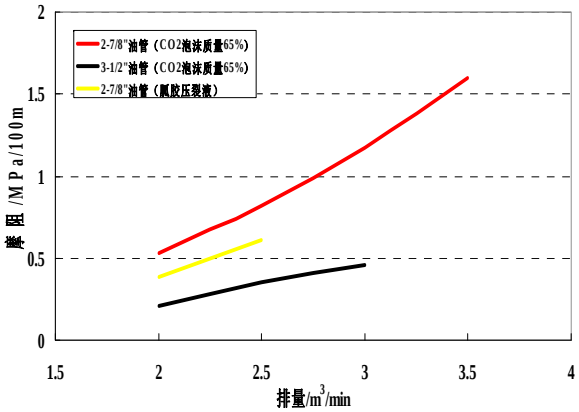
进过室内研发与现场试验，研发了3种CO_2压裂技术

（1）前置CO_2增能压裂工艺技术

结合液态CO_2高返排、低伤害以及加砂压裂改造能力强的特点，提出了先采用纯液态CO_2压开地层、然后再开展常规水力压裂的前置CO_2增能压裂技术，提高了CO_2压裂的返排速度。

（2）CO_2泡沫压裂工艺技术

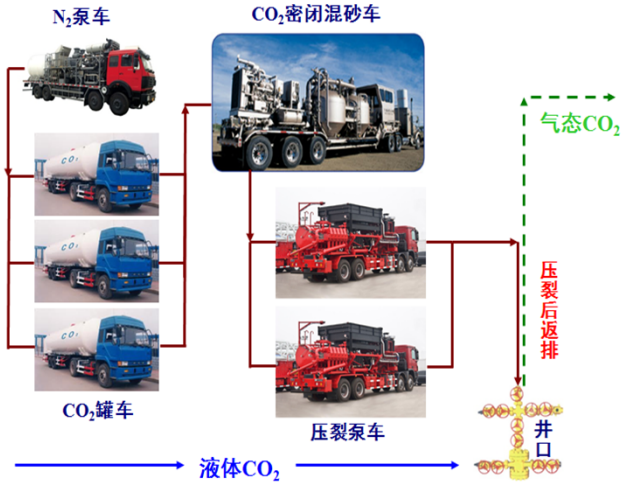
将液态CO_2与常规压裂液按照一定比例（泡沫质量>52%）混合后形成的泡沫流体作为携砂液注入地层进行压裂改造的技术，节水、低伤害。



4、CO_2压裂技术研发

（3）CO_2干法压裂工艺技术

以纯液态CO_2作为携砂液进行储层压裂改造的工艺技术，压后CO_2能快速、彻底返排出地层，真正意义上实现地层无伤害改造。

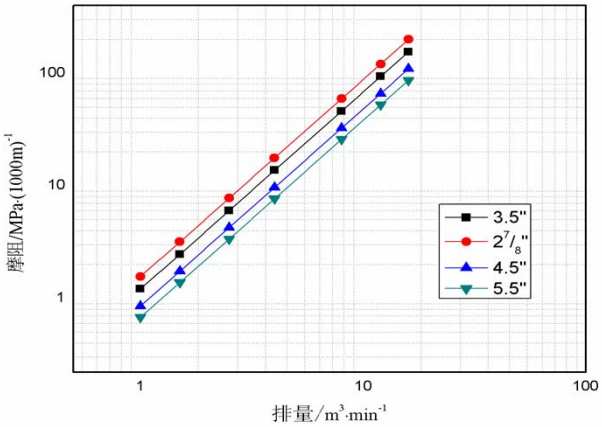


◆液态CO2管流性能测试

国内首次系统评价了液态（超临界）CO_2流动摩擦系数、动态滤失特性、动态携砂性能，为CO_2干法压裂施工参数优化提供理论支撑。

◆ CO_2干法压裂优化技术

考虑泵注、建立了CO_2井筒流动摩阻图版，优化了干法压裂施工参数。



四、矿场实践应用情况

经过多年科研攻关和实践，延长石油在碳减排、捕集与埋存工作已经取得实质性进展。

1、靖边煤化工示范项目

针对煤碳多氢少和石油、天然气氢多碳少特征，通过碳氢互补，延长石油实施了全球首套油气煤综合利用示范项目。该项目总投资269亿元人民币，主要生产60万吨/年聚乙烯、60万吨/年聚丙烯等产品，2014年7月投产，实现年减排435万吨。

序号	靖边煤化工项目	本项目	国际先进	国内先进	与国际先进比较	备注
1	甲醇产量(10^4t/y)	180	165.35	153.12	+8.86%	原料数量一致
3	能耗(GJ/t甲醇)	37	48	50	-23.8%	
4	甲醇用水(m^3/t甲醇)	4.1	10	12	-59.00%	
6	CO_2排放(10^4t/y)	285	720	720	-60.42%	年减排435万吨
7	SO_2排放(t/y)	634	1389	1389	-54.36%	
8	废水排放（m^3/h）	83.4	252.9	252.9	-67.02%	年节水1000万方
9	固废排放(10^4t/y)	12.82	39.82	39.82	-67.81%	渣场填埋

四、矿场实践应用情况

2、榆林油煤共炼示范项目

在单一重油加氢裂化制油、煤炭加氢液化制油技术的基础上，延长石油合作开发了油煤共炼技术，以渣油、重稠油、煤焦油、中低阶煤等为原料，发挥煤与重油在反应中的协同效应，大幅提高资源转化效率，实现年减排180万吨

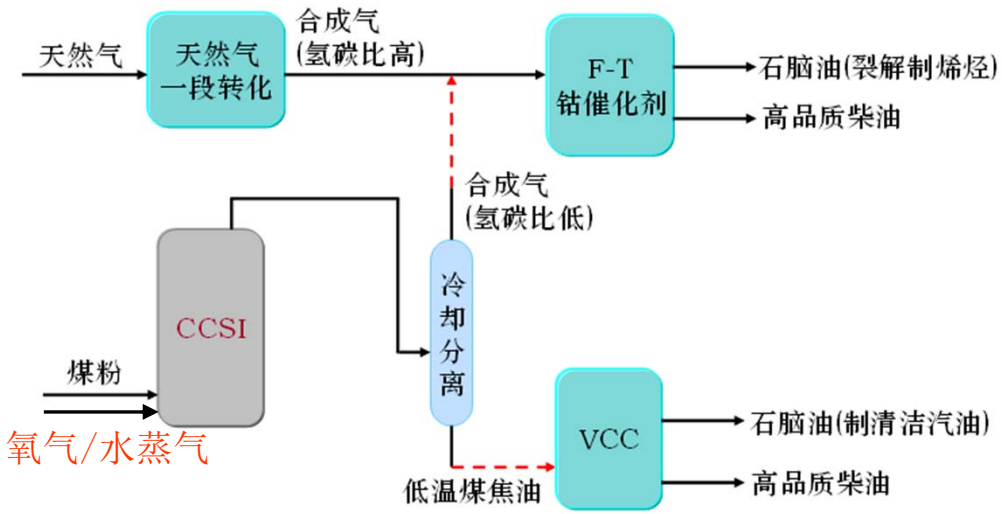
项 目	规模	建设投资	吨油投资	能效	CO_2排放	水耗
煤间接液化制油	100万吨/年	>160亿	>16000元/吨	40.5%	7.2吨	>10吨/吨油
煤直接液化制油	100万吨/年	>120亿	>12000元/吨	50.26%	5.2吨	10吨/吨油
油煤共炼制油	33万吨/年	≈25亿	≈7500元/吨	70.65%	1.1吨	3.36吨/吨油

四、矿场实践应用情况

3、煤热解与气化一体化（CCSI）项目

延长石油自主开发了粉煤高能效、高收率快速热解制油与焦末制合成气一体化技术，即煤热解与气化一体化（CCSI）技术。目前小试和中试冷漠实验已经顺利完成，36吨/天的CCSI技术中试装置目前正进行工程设计。

中试冷漠装置



CCSI年加工1亿吨煤效益分析

1. 原料成本：350亿元
2. 产品价值：2360亿元

   煤焦油加工产值：960亿元

   合成气、油产值：1400亿元
3. 资源增加值：2010亿元

四、矿场实践应用情况

4、低成本煤化工CO_2捕集装置

榆林煤化公司于2012年11月建成了5万吨/年的CO_2捕集装置。

兴化新科气体公司利用先进的工艺技术及装备捕集提纯工业废气，生产8万吨/年食品级液态CO_2。

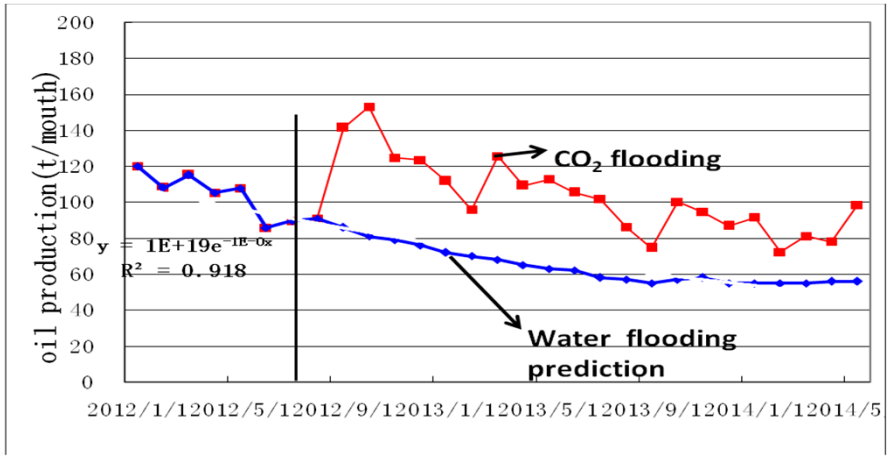
中煤榆林能化公司2014年启动建设36万吨/年的捕集装置，计划2015年10月建成投产。

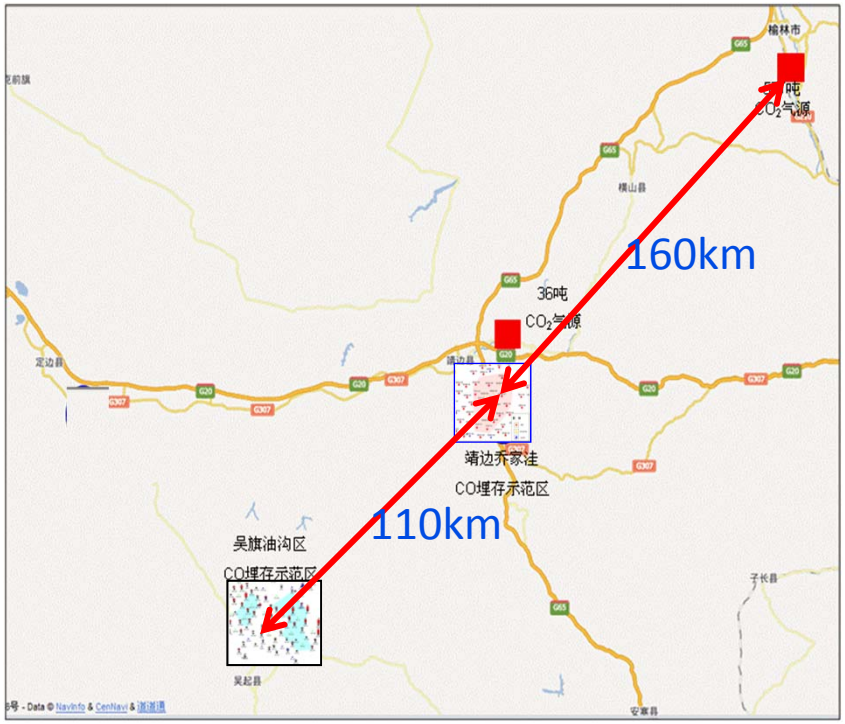
四、矿场实践应用情况

5、CO_2-EOR与埋存先导试验

（1）靖边CO_2-EOR与埋存先导试验区

乔家洼于2012年9月5日运行，截止2014年9月，注入5个井组，累计注入1.8万吨液态CO_2，考虑水驱递减累计增油900吨。2015年底将新增16个注入井组，年注入CO_2规模达20万吨，年封存$CO_2$12万吨。

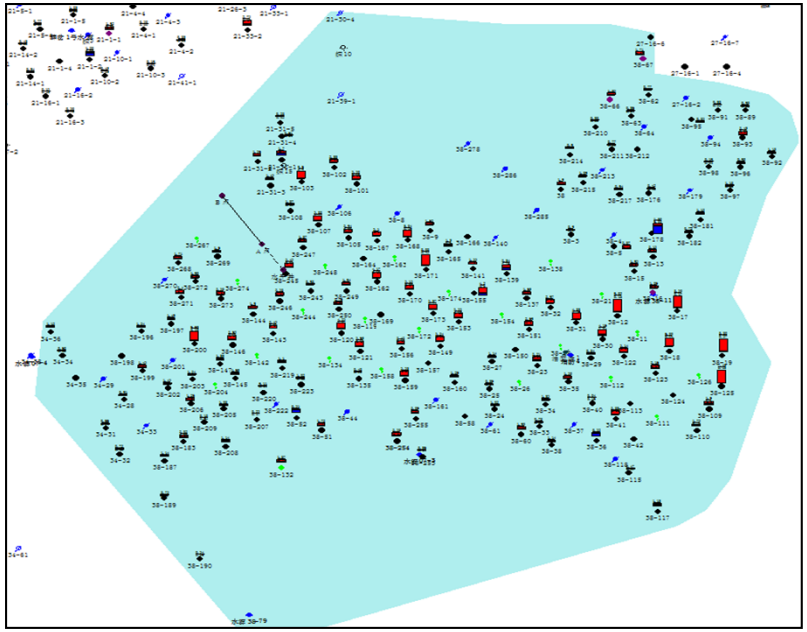


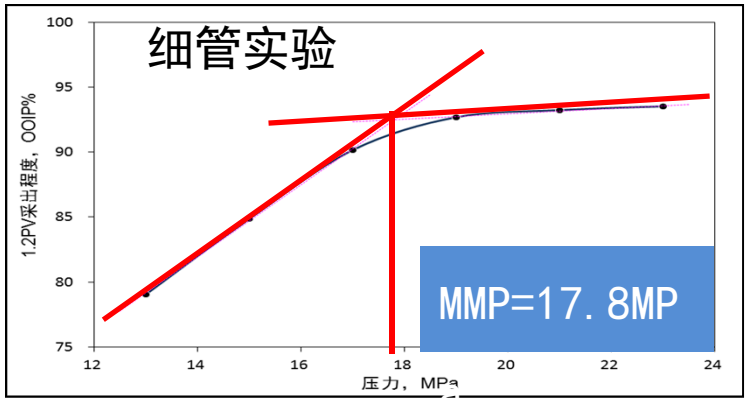


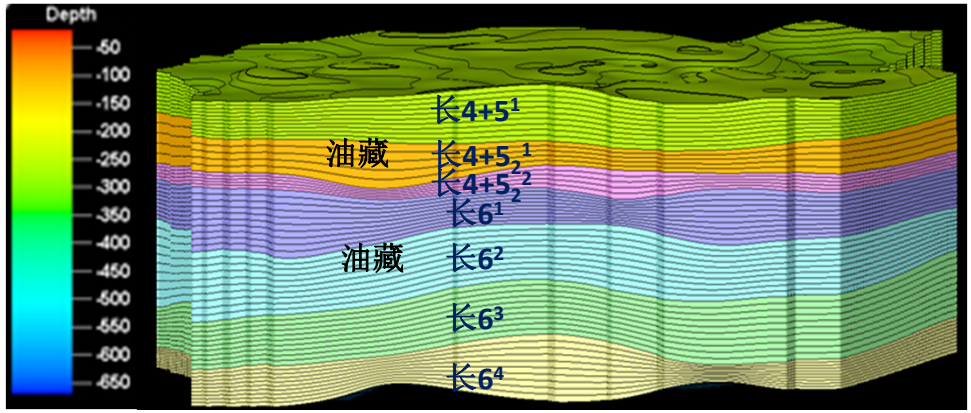
四、矿场实践应用情况

（2）吴起CO_2-EOR与埋存先导试验区

第二期在吴起油区开展CO_2混相驱提高采收率试验，试验区面积14.8km^2。2014年8月将完成5个井组的CO_2注入与地面注采集输工作，并开始注入。2015年吴起试验区注入规模将达到36个井组，年注CO_2达30万吨，年封存18万吨CO_2。





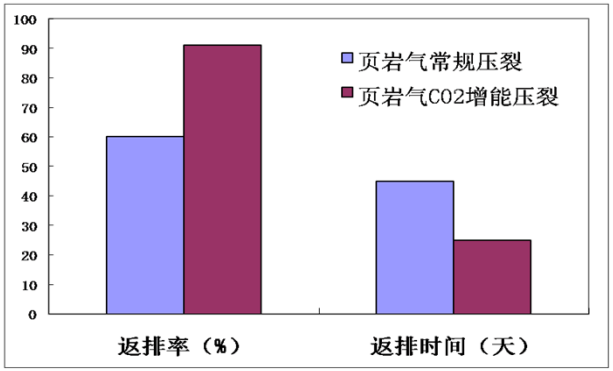


四、矿场实践应用情况

6、CO_2压裂矿场应用

（1）页岩气井CO_2压裂：延页平3井进行了CO_2压裂，加CO_2量767方，加砂728方，压裂液量2万多方。通过CO_2增能压裂，提高了单井产量和压裂液返排率。

（2）天然气井CO_2压裂：针对低压致密砂岩气藏特征，开发了VES-CO_2泡沫压裂工艺技术，现场应用增产效果明显。试3井压前日产气量6400方、无阻流量为2.15万方，采用VES-CO_2泡沫压裂后日产气量3.8万方、无阻流量近10万方，产量提高3倍。



五、后期规划与研究方向

经过前期科研和实践积累，延长石油在十三五末初步工作计划安排如下：

1、开展煤油气联合化工减排工作，通过碳氢互补与煤分质提纯，创造化石能源洁净利用新模式，相比传统煤化工年减排二氧化碳1200万吨以上。重点创新开展煤油气制烯烃技术、煤油共炼技术，大幅度减少CO_2排放，提高能源效率。

◆油气煤综合转化-煤油气制烯烃，年产60万吨聚乙烯、60万吨聚丙烯等产品。

◆煤油共炼-靖边45万吨/年煤油共炼示范项目2014年5月份投料试车；神木50万吨/年煤焦油加氢示范项目2014年10月份投料试车。

五、后期规划与研究方向

2、开展CCUS工作安排如下：

◆在现有50万吨二氧化碳捕集基础上，开展350万吨煤化工CO_2捕集装置论证，使总捕集能力达到400万吨；

◆论证并建设总长约200－300公里、输送能力400万吨/年CO_2输送管线；

◆建成600个井组以上的CO_2地质封存与提高原油采收率工业化应用基地，年增油100万吨，年封存二氧化碳240万吨，提高原油采收率5%-10%，形成油井产出CO_2再捕集与循环利用。

◆开展100口页岩气和天然气井二氧化碳压裂；

◆建设一支高水平的CCUS运营管理团队，可以承担减排、捕集、应用与封存管理与技术工作重任，保证延长石油的CCUS工作健康稳步发展。

五、后期规划与研究方向

3、下一步延长石油CCUS研究方向：

◆**CO_2捕集、分离及输送技术研究**—包括煤化工CO_2捕集新流程模拟与优化；捕获分离技术经济评价；液体与超临界CO_2输送技术；油田采出气CO_2分离工艺。

◆**CO_2埋存与驱油配套技术研究**—包括CO_2灌注数值模拟及注气方案优化；CO_2埋存与驱油地面工程技术；腐蚀结垢评价与防护技术研究

◆**CO_2封存与驱油安全监测技术研究**—包括进CO_2地质封存与驱油安全监测；CO_2驱替前缘和气窜监测；井筒注入动态和产出动态监测

◆**CO_2压裂工艺技术研究**

◆**CCUS政策与法律法规研究**

结束语

二氧化碳高效利用与地质埋存相结合的技术思路是实现碳减排、提高石油采收率的有效途径。延长石油愿与国内外同行进一步加强交流与合作，创新驱动，加强资源综合利用技术攻关，积极倡导低碳理念，为全球化石能源的高效、清洁、低碳利用做出积极地贡献。

汇报结束　谢谢！