



新疆广汇CCUS示范项目 预可行性研究

师庆三

新疆大学地质与矿业工程学院

目 录

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7

概 述

现阶段完成的任务

捕集环节可行性分析

封存场地筛选

运输环节可行性分析

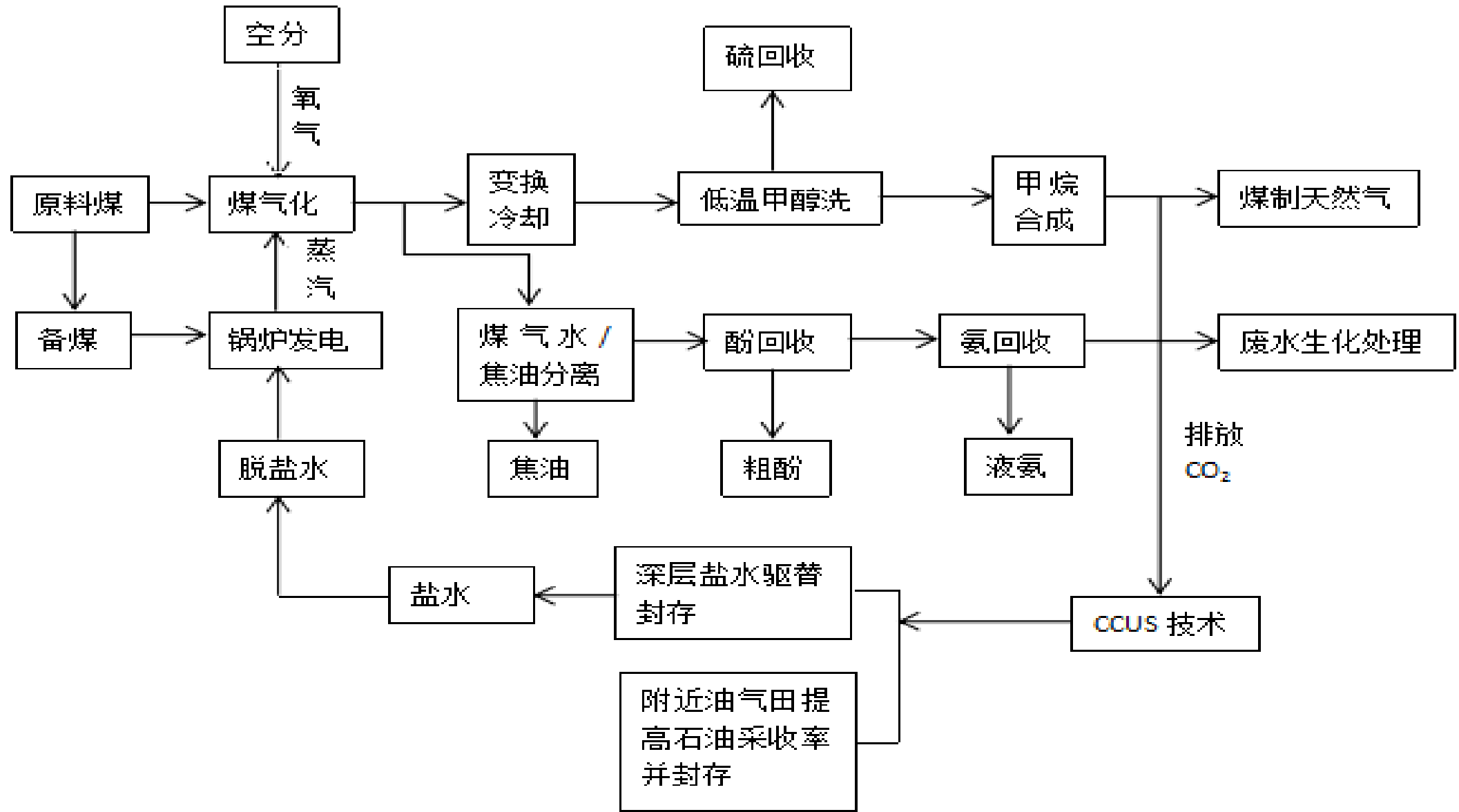
封存环节可行性分析

总 结

一、概 述

CO₂ 温室气体使全球气候变暖,温度幅度已经超出了其本身自然变动的范围,对人类的生存和社会经济的发展构成了严重威胁。而CO₂ 的地质处置最有效的方式就是注入油气田,不但封存了 CO₂,还可提高油气田的采收率。

新疆广汇准东喀木斯特40亿M³/年煤制气天然气项目绿色低碳CCUS工程项目, 主要依托新疆富蕴光辉新能源有限公司喀木斯特煤制气项目产出 CO₂, 经过压缩、CO₂提浓、二次升压、精制液化, 最终作为液体产品储存或外运供给准东油田驱油。



项目流程

二、现阶段已完成的工作

预科研内容	说明	完成度
捕集环节可行性	研究了捕集工艺、场地、能耗、资金等。	高
封存场地筛选	考虑了时机、规模、油藏条件、源汇距离、工程条件。 完成了彩南油田滴20、滴12、滴2井区的比选。	高
运输环节可行性	3年、20年管道运输和罐车运输的比较。	高
封存环节可行性	建立油藏数值模型，预测增产潜力。	中
环境风险评估	基于FEP数据库，建立风险矩阵。	中

三、捕集环节可行性分析

• 1、捕集技术

新疆富蕴广汇新能源有限公司喀姆斯特煤制气项目采用成都五环新锐二氧化碳制食用级液体二氧化碳技术，以低温甲醇洗装置放空尾气为原料，生产液体二氧化碳，用于准东油田驱油。项目吸收含CO₂原料气13.5万吨/年，CO₂产量9.5万吨/年，精制后最终提供浓度近99.8%的二氧化碳。

40 亿 Nm³/年煤制气项目产生 CO₂ 情况

气体来源：煤制气低温甲醇洗单元

二氧化碳产品的规格：

CO ₂	86.88%	N ₂	11.86%
CO	0.28%	H ₂	0.6%
CH ₄	0.58%		

二氧化碳产品量：

1068111Nm³/h

1458 万吨/年

三、捕集环节可行性分析

• 2、工艺流程

(1) 二氧化碳压缩工序

纯度大于**95%**的二氧化碳经压缩机三级压缩至**3.0MPa**，再经冷却、水分离后进入精制液化工序。

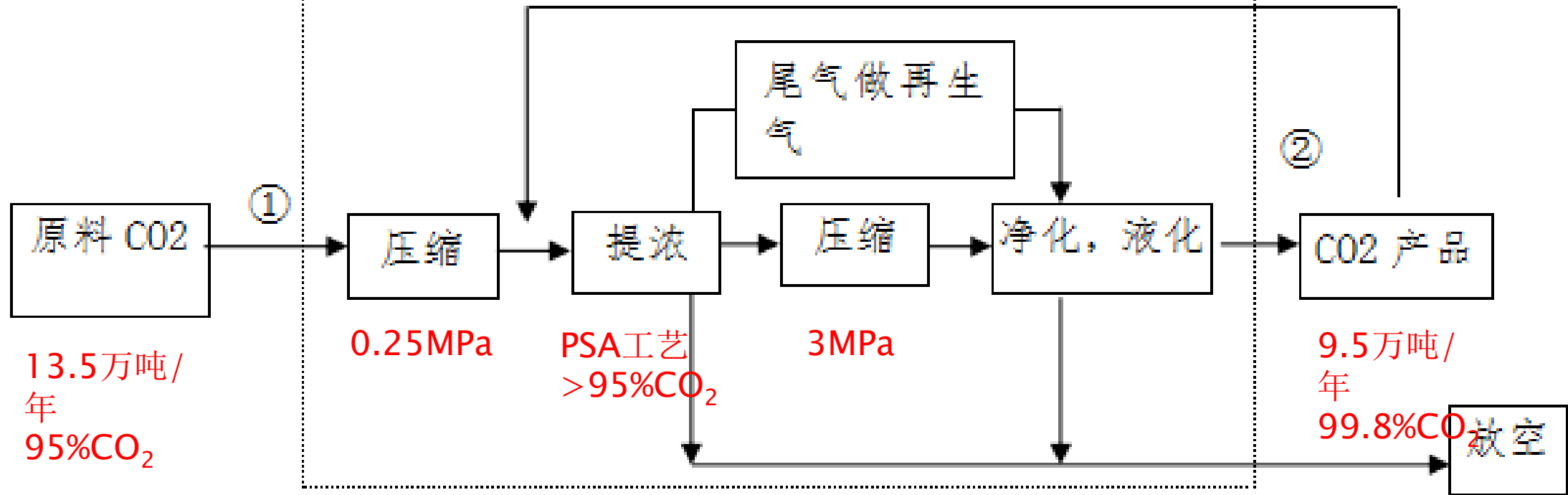
(2) 精致液化工序

二氧化碳进入由**4**台吸附塔、**1**台再生加热器组成的吸附净化系统中，脱除气体中的水分和高碳烃。然后进入二氧化碳液化器中，以液氨蒸发作为冷媒，气体二氧化碳液化为液体二氧化碳后，进入贮存工序。

(3) 贮存工序

液体二氧化碳进入气液分离器，在气液分离器中，溶解在液体二氧化碳中的杂质得到分离，从提分离器底部得到的工业级液体二氧化碳自压送入产品二氧化碳贮罐。

贮罐放空空气回收



工艺流程图

三、捕集环节可行性分析

- 3、煤制气生产成本

以40亿立方米/年项目为例，采用不同的工艺路线生产成本如下表：

工艺路线	煤炭价格（元/吨）		
	150	300	500
碎煤固定床加压气化	0.96	1.73	2.77
水煤浆气化	1.20	1.60	2.12
粉煤加压气化	1.30	1.81	2.49

煤制气生产成本（单位：元/立方米）

力。

竞争

三、捕集环节可行性分析

- 4、与中亚石油、与成都五环新锐化工有限公司的合作

2012年5月，新疆富蕴广汇新能源有限公司分别与中亚石油、五环新锐化工有限公司签署了合作备忘录，利用五环新锐化工有限公司的食品级液体二氧化碳技术捕捉新疆富蕴广汇新能源有限公司喀姆斯特煤制气项目产生的CO₂，为中亚石油提供品质合格的液体二氧化碳进行驱油。

四 封存场地筛选



罐车运输	排放源-滴2井	排放源-滴12井	排放源-滴20井
距离 km	76	85	86
管道运输直线距离 km	63.6	73.3	75.8

- 指标：储层深度、地温、油藏倾角、地层压力、地下水矿化度、孔隙度、渗透率、原油性质、井条件、源汇距离、开采程度、自然条件

封存场地筛选表

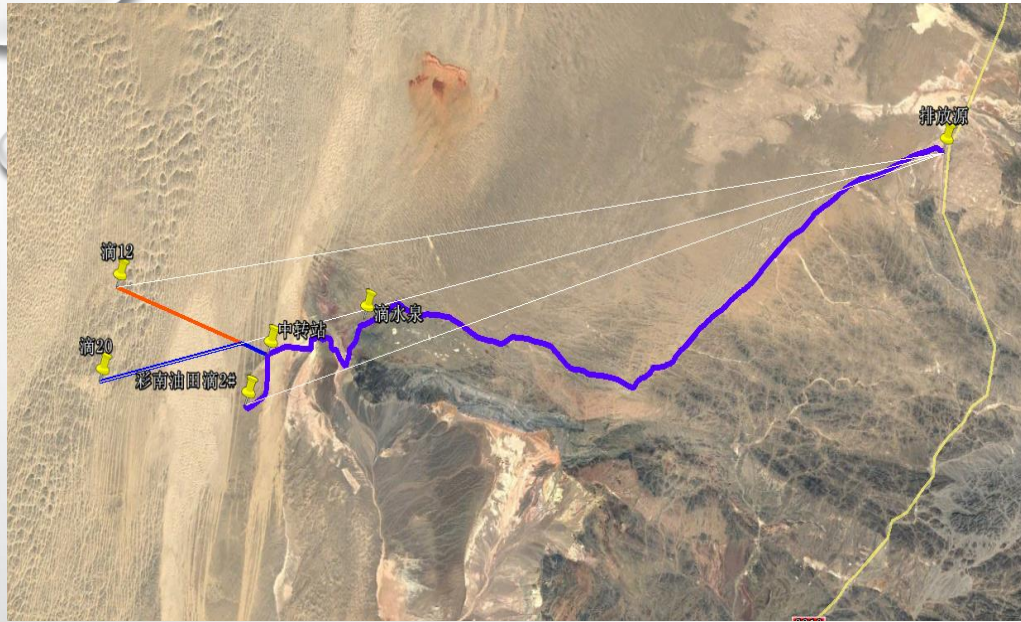
区域	滴12	滴2	滴20
储层描述	灰色中—细、中粗、含砾砂岩，面积5.57km ² ，厚度6.6m	灰色中—细、中粗、含砾砂岩面积1.43km ² ，厚度5m	面积7.2km ² ，厚度6.5m，泥质盖层15m
储层埋深	中部深度1115m	中部深度970m	
地温	44.6℃	40.3℃	
油藏倾角	5~8°	5~8°	5~12°
地层压力	中部压力8.678MPa	中部压力7.043MPa	
地层水矿化度		临界盐度9339.32mg/L	
孔隙度	19.20%	17.80%	
渗透率	138.61 e-3μm ²		
原油粘度m Pas	39.8（地面）	110.1（地面）	42.4（地面）
原油密度 g/cm ³	0.87~0.883	0.9~0.909	0.88~0.839
注入井	20	9	24
生产井	45	23	48
井距	小于280m	小于280m	小于280m
日单井注入量	小于18m ³	小于18m ³	小于18m ³
源汇距离	约85km	约75km	约85km
油藏开采时间与程度	2005年开发 采出程度小于15%	2007年开发 采出程度大于15%	2011年开发 采出程度小于10%
储量（三者对比）	中间值	最小	最大
地面交通条件	地表被第四系戈壁沙漠覆盖，地形起伏，局部平坦，覆盖有少量植被，地面海拔599~804m，无地表水系和居民点		
其他	冬季寒冷，最低温度可达-40℃，夏季干旱炎热，最高气温可达45℃。区内年平均降水量小于50mm，年蒸发量大于2000mm。从彩南油田有公路可以直达，交通较为便利。		

四、封存场地筛选

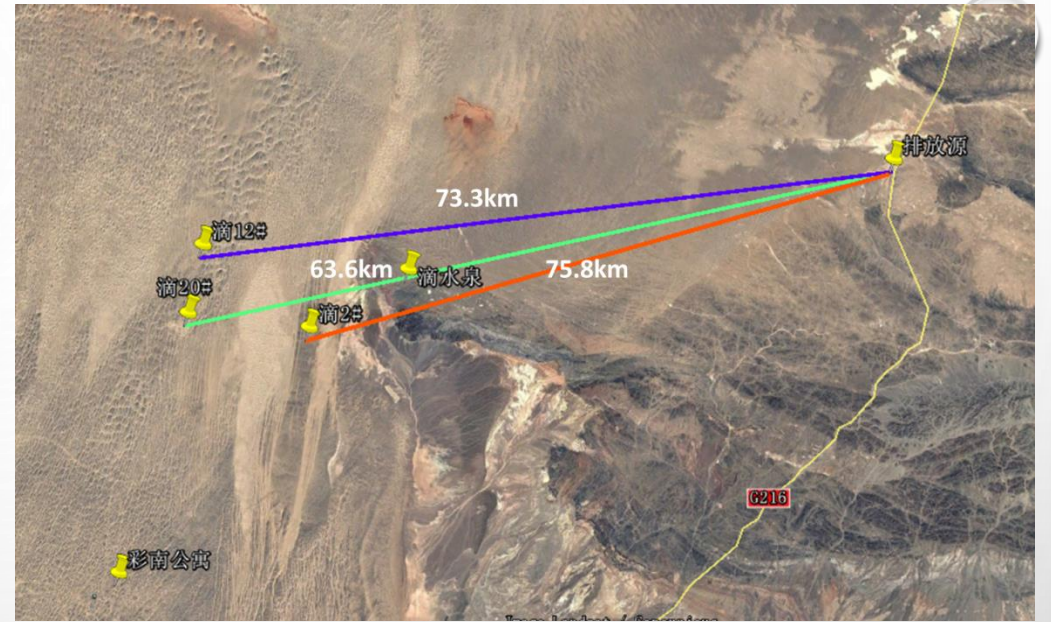
通过对比筛选，确定滴2井区为目标封存场地，主要理由如下：

- (1) 时机。滴2井区的储量小，开采程度高，有通过CO₂-EOR技术提升产量的潜在需求。
- (2) 规模。滴2井区已有32口井，可以满足10万吨/年的注入能力
- (3) 油藏条件。三个候选区域中滴2的原油粘度较高，水驱效果不好，油田有改为CO₂驱的意愿。
- (4) 源汇匹配。候选场地中滴2井区与排放源最近，有公路或便道连接，既可以进行罐车运输，也可以采用管道运输。
- (5) 工程条件。工作区有完善的注、采设施，监测设施和工作条件。

五、运输环节可行性分析



罐车运输候选路线



管道运输候选路线

	排放源-滴2井	排放源-滴12井	排放源-滴20井
罐车运输距离 km	76	73.3	86
管道运输直线距离 km	63.6	73.3	75.8

工程条件

候选CO₂运输方式：**管道输送**、罐车运输。

沿线条件：地势较平坦，管道沿线无河流、无公路，无铁路等障碍。主要地形是戈壁，沙漠，地形起伏小于200m。施工条件良好。

五、运输环节可行性

罐车输送条件:

CO₂储罐选择半冷冻储罐，圆柱形钢罐。输送压力为2MPa，输送温度-30℃。根据输送规模设计容量为50T的CO₂储罐。

管道输送约束条件:

- A) 管道的运行温度不能超过压缩机、管道及管道外涂层的耐温极限;
- B) 管道进口压力要远远高于CO₂的临界压力7.38MPa。压力上限的设定主要出于降低成本的考虑，也与管道所采用法兰的承压极限有关。

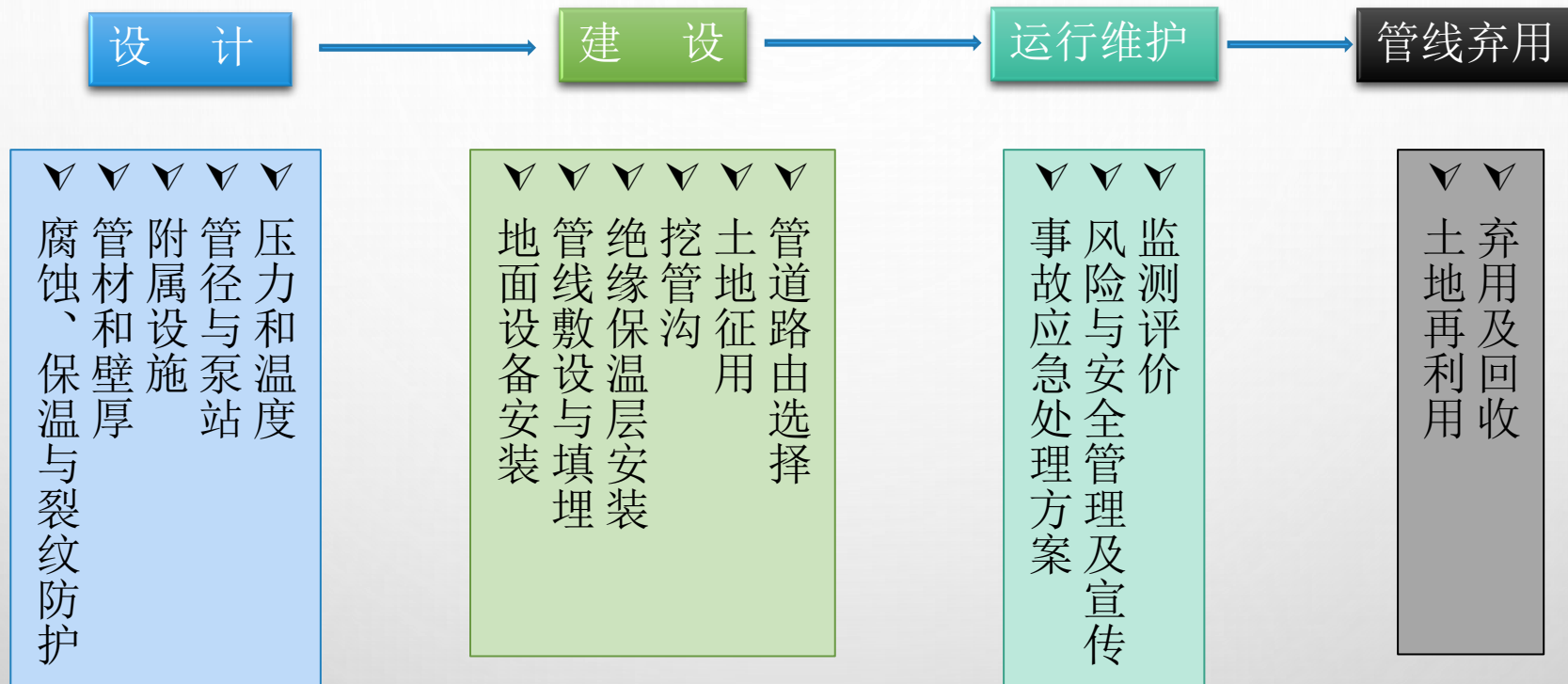
新疆广汇示范工程运输总成本比较 (10万t/a, 3年)

C)	滴2	滴12	滴20
罐车运输总成本	1.053亿	1.178亿	1.192亿
管道运输总成本	2.012亿	2.178亿	2.208亿

三年示范期内罐车运输较便宜。30年运行则管道较便宜。

五、运输环节可行性分析

• CO₂管道实施流程



• CO₂管道运输相态：气相、液相、超临界态、密相

密度和液体相仿，粘性和气态

接近

五、运输环节可行性分析

CO₂管道运输设计的关键技术:

- 运输设计压力12MPA，温度>20℃。
- 捕集出口压力为1.7MPA-2.2MPA，需要增压至12MPA。采用压缩机三级压缩。
- 管道起点设置站场，安装收发球筒、阀室、调压系统、站控系统。
- 线路中间无需增压，在离入口15KM处安装一座阀室。线路截断阀室间距按15KM进行设置。
- 线路末端设置接收装置。
- 止裂器安装间距300-800M。
- 钢材X65，管道直径≥114.3MM，壁厚>6.0MM。
- 环氧树脂防腐层+聚氨酯泡沫保温层+聚乙烯夹克防水层，3PE防腐层。

五、运输环节可行性分析

• 本项目CO₂管道设计参数

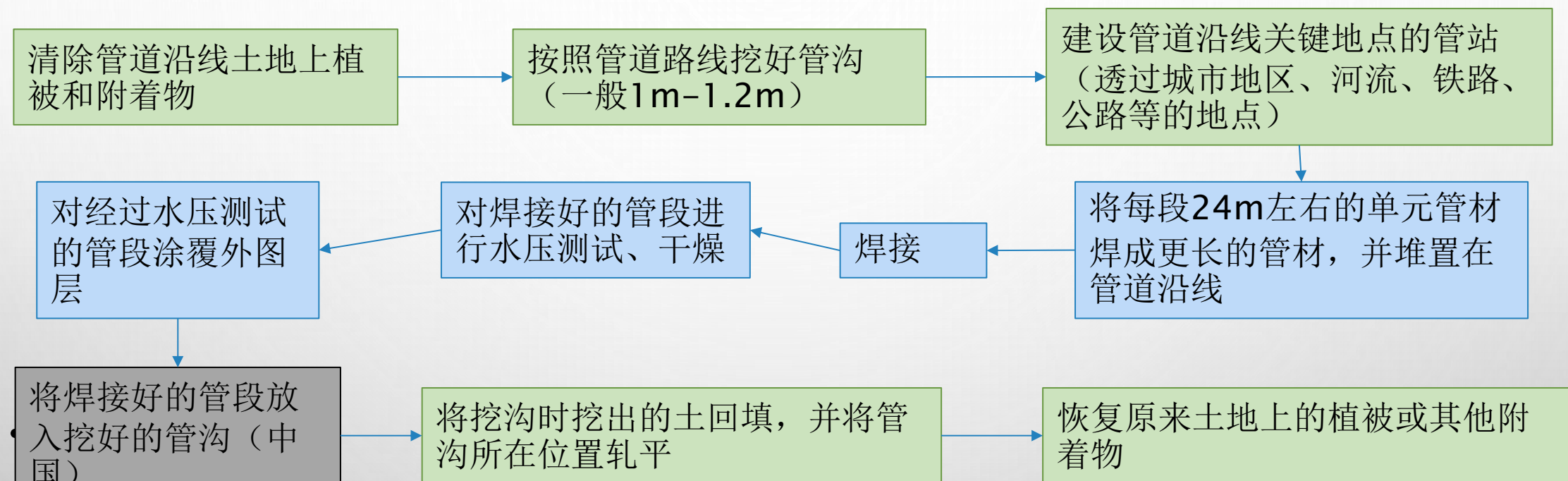
• 工程地处新疆阿勒泰富蕴县，昼夜温差较大，超临界状态运输易导致CO₂在运输过程中出现两相流，发生阻塞、泄露甚至爆炸，较好的方式是采用密相液态（压力超过临界压力而温度低于临界温度）输送。

CO₂管道基本设计参数

名称	符号单位	密相
进口压力	Pin[M Pa]	12
出口压力	Pout[M Pa]	9.2
输送温度	T [K]	>20°C
输送规模	M[t/a]	0.1
输送距离	L [km]	80
CO ₂ 压缩因子	ZCO ₂	0.32
CO ₂ 密度	ρCO ₂ [kg/m ³]	625-1025
钢材密度	ρ钢 [g/cm ³]	7.85
电价	PC [RMB/KW.h]	0.066
设备容量因子	CF	0.8
折旧年限	N[年]	20

五、运输环节可行性分析

• CO₂管道建设流程



日常运行、两行运行及维护 (管道运行管理技术在中国非常成熟, 大量石油天然气管道经验可以借鉴)

五、运输环节可行性分析

- 经济性评价依据

- 管道设计、建设和运行的国际国内规范和法规（包括国际规范、美国、加拿大、联合国、英国等地有CO₂管路输送经验的国家出台的规范和法规）。
- 阿尔泰市管道工程相关的经济参数（包括材料费、人工费、征地费、当地电费）。
- 增压成本（从1.7MPa-2.2MPa增压至12MPa，费用主要包括增压泵成本、发动机固定成本及运营的燃料费用）

五、运输环节可行性分析

• 管道运输成本

- 固定成本：建设成本（管材成本、线路安装费用、征地费用、通信评价、勘察设计及站场投资）。
- 运营管理成本（动力成本、监测成本、维修护理费用、工资福利等）。

新疆广汇CO₂输送管道成本结果（长度80km）

成本	成本结果（3年）	成本结果（20年）
增压成本	893.4万	5956万
管道运输固定总成本	2.125亿	2.125亿
管道运营成本	670.86 万元/年	543.38万元/年
管道运输总成本	2.415亿	3.807亿
均化成本	115.20元/t CO ₂	38.00元/t CO ₂
平准化成本	1.44元/t.km	0.48元/t.km

运输环节一次性投资需要2.125亿，示范3年的总投资为2.415亿，均化成本是115.2元/t CO₂，平准化成本是1.44元/t.km；若按照管道折旧年限20年计算，20年的总投资为3.807亿，均化成本是38元/t CO₂，平准化成本是0.48元/t.km。

五、运输环节可行性分析

- 罐车运输与管道运输成本对比

新疆广汇示范工程运输总成本比较（10万t/a）

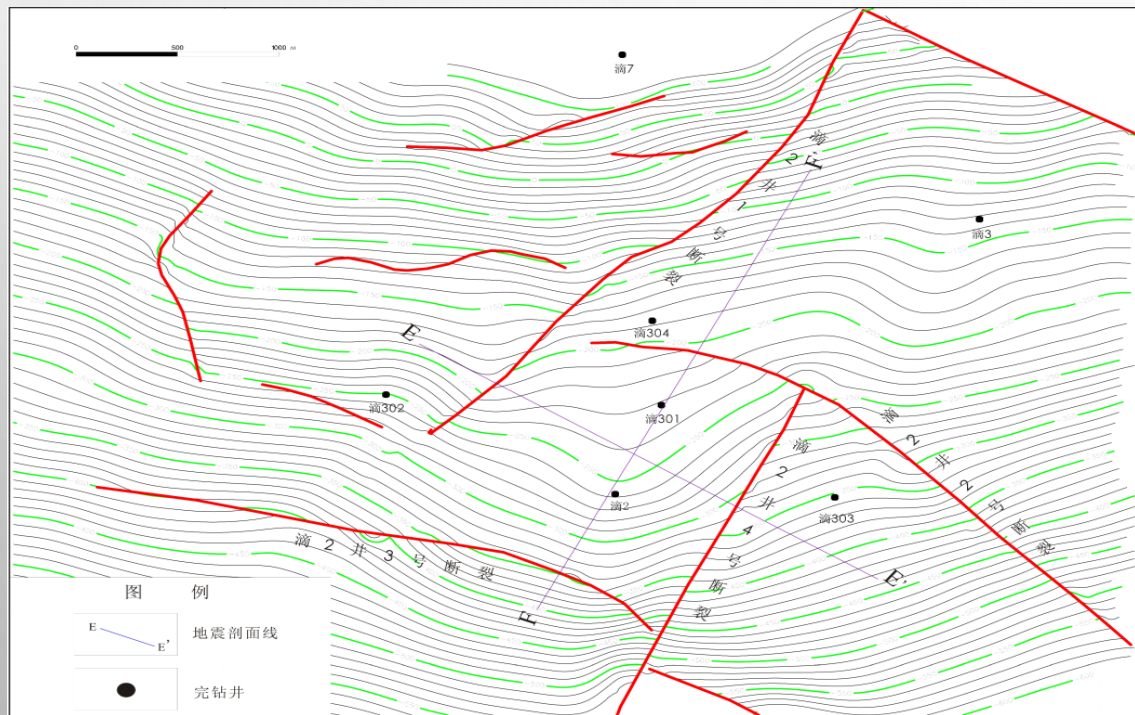
排放源-滴2井	3年	20年	距离
罐车运输总成本	1.053亿	7.02亿	76km
管道运输总成本	2.415亿	3.807亿	80km

- 经对比可知：新疆广汇煤制天然气CO₂地址封存项目的运输环节宜采用罐车运输。后期若大规模输送，宜建设管道输送CO₂，平均化成本较低。

六、封存环节可行性分析

1、封存地基本概况

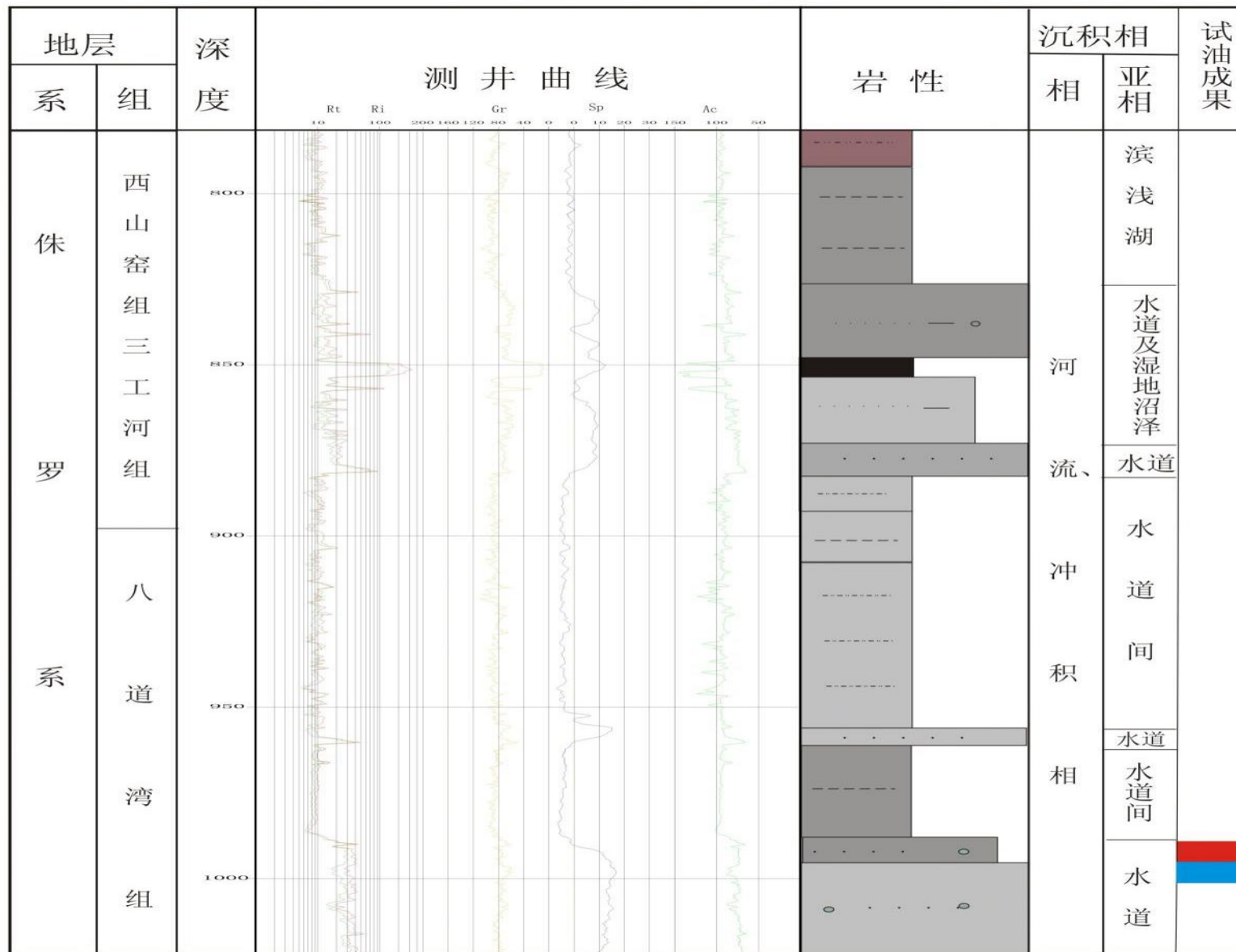
彩南油田位于阜康境内，准格尔盆地古尔班通古特沙漠腹地**80 KM**，彩南油田是我国第一个百万吨级沙漠整装油田。彩南油田的主力油藏为滴水泉八道湾组油藏，油藏裂缝较少。



滴2井区块八道湾组底部砂层顶面构造形态为一向南倾的单斜，无构造圈闭，较大的断裂有1号、2号、3号和4号断裂。

含油储层岩性为灰色细砂岩、中砂岩和含砾不等粒砂岩、砂质小砾岩、为近岸冲击相。含油储层在油藏范围内厚度一般10-20 m，西部滴302井和东北都滴3井砂砾岩厚度为零。由滴304井向北东方向变薄。

六、封存环节可行性分析



滴2井侏罗系八道湾组沉积相柱状图

滴2井区块位于准噶尔盆地东部滴南凸起，构造上属于陆梁隆起的二级构造单元。滴南凸起形成于中、晚石炭世，晚三叠世末期的印支运动使其抬升受剥蚀，形成石炭系和侏罗系的不整合。本区地层自上而下依次为白垩系吐谷鲁群、侏罗系西山窑组、三工河组八道湾组和石炭系巴山组。主要储层岩性为：

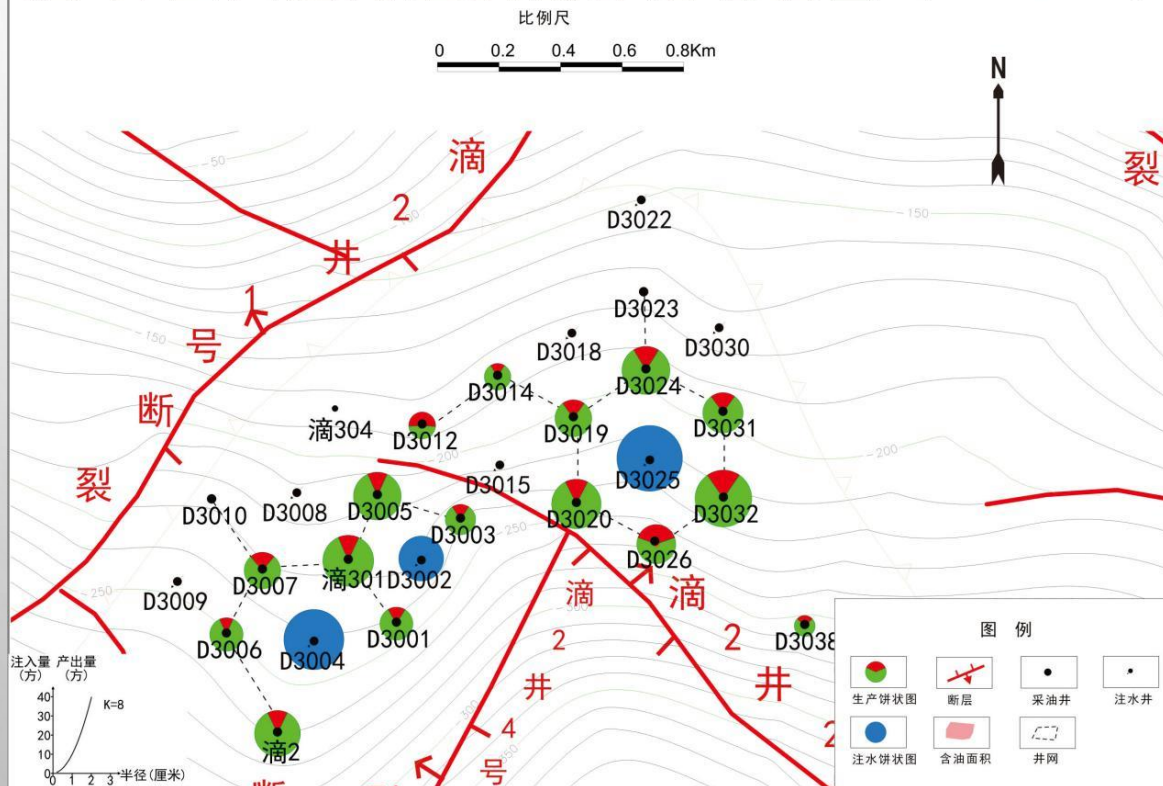
西山窑组（J2x）：一般厚60-80m左右，为大套灰色及深灰色泥岩，底部为粉细砂岩。

三工河组（J1s）：一般厚70-100m左右，中上部为灰褐色泥岩、灰褐色细砂岩、中砂岩不等厚互层，下部为浅灰色含砾不等粒砂岩。

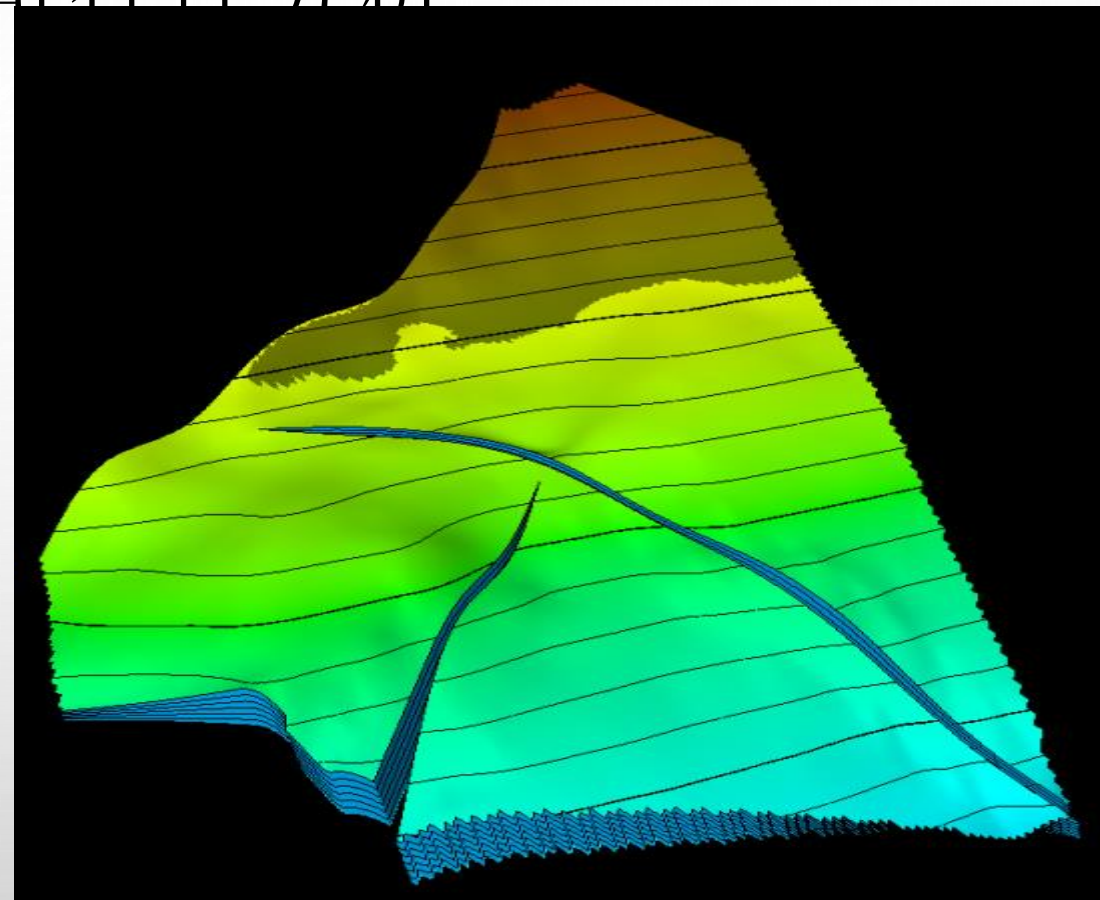
八道湾组（J1b）：一般厚120~150左右，中上部为灰褐色泥岩与灰色含砾不等粒砂岩互层，下部为灰色细砂岩、中砂岩和不等粒砂岩。

六、封存环节可行性分析

滴2井区八道湾组油藏开采现状图 (201604)



滴2井区油藏开采现状



储层砂岩构造模型

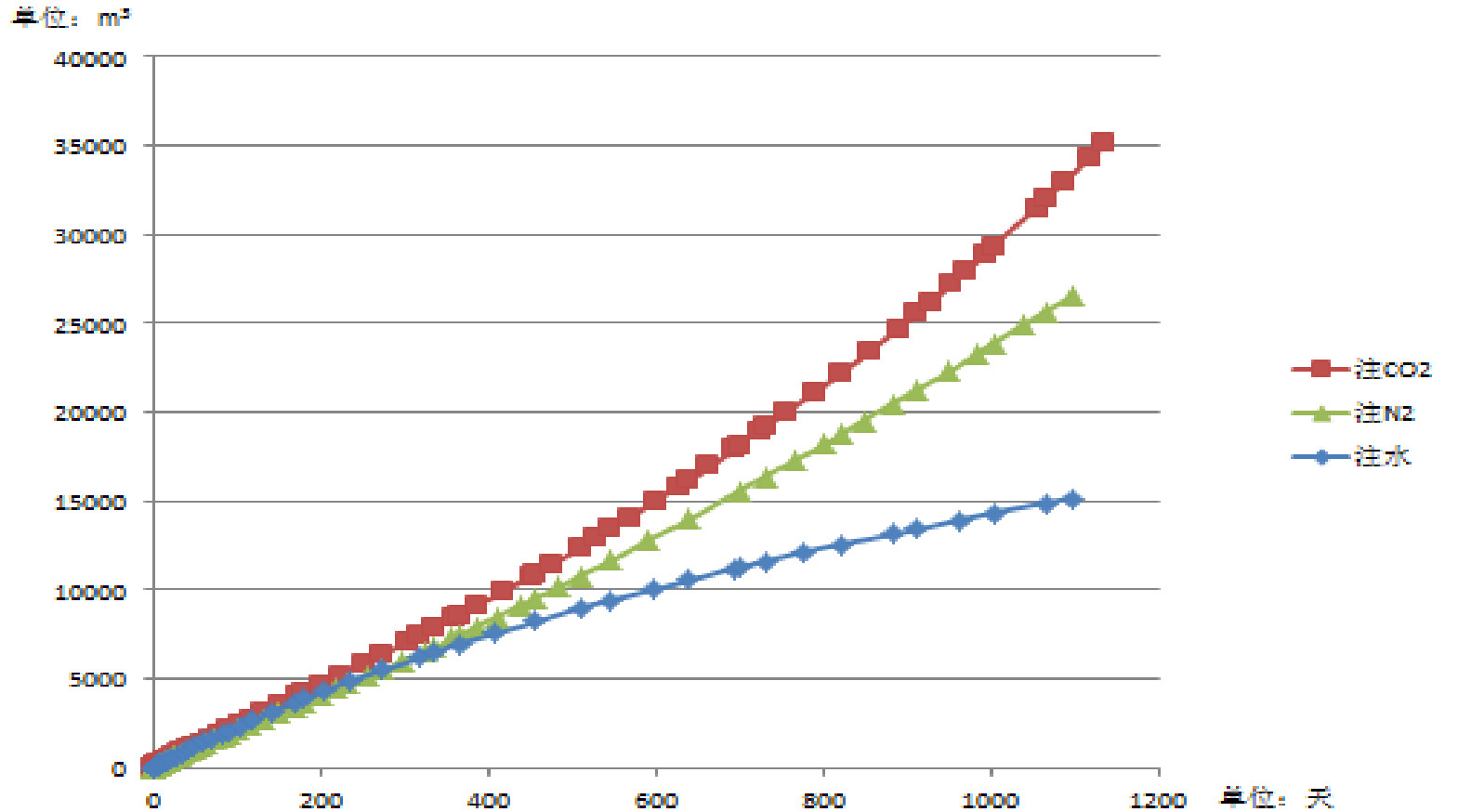
六、封存环节可行性分析

建立构造模型后，结合油藏模拟软件CMG对油藏进行注入CO₂模拟，为验证注入CO₂驱油封存效果，在模拟的软件中加入了传统氮气（N₂）驱油以及注水驱油。对三种驱油方法进行注入量都是10万吨/年的模拟开采对比，模拟时间为三年，并得出了相关数据。

六

滴2井区注水、注CO₂、注N₂效果对比图

滴2井区注水、注CO₂、注N₂效果对比图



根据CMG油藏模拟软件的模拟数据可知，在滴2井区进行模拟的三种驱油方式（H₂O、N₂、CO₂）都有效果，其效果曲线图如图

六、封存环节可行性分析

- 5、小结

对滴2井区北部2口单井进行CO₂-EOR试验，在注入的CO₂ 1周之后，4个月两口单井的平均日增产3.1吨，累计增油372吨，提高石油采收率12%。使用PETREL建模软件建立构造模型，结合先导试验数据及油藏模拟软件CMG对滴2井区油藏进行注入CO₂模拟，为验证注入CO₂驱油封存效果，在模拟的软件中加入了传统氮气（N₂）驱油以及注水驱油。对三种驱油方法进行注入量都是10万吨/年的模拟开采对比，模拟时间为三年，最终得出结论CO₂驱油封存效果最佳。确认了评级体系准确性后，对评价出的适宜油藏进行理论计算，得出准东油田理论二氧化碳封存量： 1076.82×10^4 T。

六、封存环节可行性分析

6、封存环节环境风险

- 结合FEP数据库，考虑包括77个影响因素，包含岩石圈、外部影响、系统自身风险三大类。
- 考虑包括环境介质、人群、动植物和微生物在内的环境风险受体
- 采用矩阵分析法，将不良后果发生的可能性和影响严重程度各自分为5级。风险后果=可能性×影响程度。

六、封存环节可行性分析

大气

	轻微	轻度	中度	重度	严重
几乎确定	■	■	■	■	■
很可能	■	■	■	■	■
可能	●	●	■	■	■
不太可能	●	■	●	■	■
几乎不可能	●	●	●	■	■

土壤

	轻微	轻度	中度	重度	严重
几乎确定	■	■	■	■	■
很可能	■	■	■	■	■
可能	■	■	■	■	■
不太可能	●	■	■	■	■
几乎不可能	●	●	■	■	■

地下水

	轻微	轻度	中度	重度	严重
几乎确定	■	■	■	■	■
很可能	■	■	■	■	■
可能	●	●	■	■	■
不太可能	●	●	■	■	■
几乎不可能	●	●	●	■	■

人群

	轻微	轻度	中度	重度	严重
几乎确定	■	■	■	■	■
很可能	■	■	■	■	■
可能	■	■	■	■	■
不太可能	■	■	■	■	■
几乎不可能	●	●	■	■	■

动物

	轻微	轻度	中度	重度	严重
几乎确定	■	■	■	■	■
很可能	■	■	■	■	■
可能	■	■	■	■	■
不太可能	●	■	■	■	■
几乎不可能	●	●	■	■	■

植物

	轻微	轻度	中度	重度	严重
几乎确定	■	■	■	■	■
很可能	■	■	■	■	■
可能	■	■	■	■	■
不太可能	●	■	■	■	■
几乎不可能	●	●	■	■	■

七、总结

- 1、新疆广汇准东喀木斯特40亿M³/年煤制气天然气项目绿色低碳CCUS工程采用的CCUS技术已经非常成熟，其周边的彩南油田也迫切需要CO₂驱进行提高石油采收率，源汇匹配非常适合；
- 2、通过PETREL和CMG软件对滴二井区进行油藏建模与注气模拟实验，对该地区CO₂封存可行性进行了预测与评估；
- 3、前期的工作为下一步二氧化碳地质封存驱油技术的应用提供了基础技术支撑，为将来新疆全面实施二氧化碳地质封存驱油提供了理论依据和实用意义。

THANKS

谢谢大家!

