

编者按

能源是工业的粮食、国民经济的命脉。党的十八大以来,习近平总书记多次对能源安全作出重要指示批示。2021年10月21日,习近平总书记考察调研胜利油田时强调,石油能源建设对我们国家意义重大,中国作为制造业大国,要发展实体经济,能源的饭碗必须端在自己手里。

在胜利油田这片见证了中国石油工业发展史的土地上,新的建设者接过了保障国家能源安全的重任——8月25日,“济阳陆相断陷湖盆页岩油国家级示范区”揭牌,这是中国石化在页岩油勘探开发领域取得战略性突破的里程碑,也是推动页岩油产业高质量发展的新起点。

本期专题邀请中国工程院院士郭旭升和中国石油大学(北京)教授曾渊辉解读中国页岩油勘探开发现状,以及中国石化页岩油勘探开发突破情况,同时,集中展示胜利油田、江苏油田、华东油气及石油工程等单位在页岩油开发中的经验做法,敬请关注。

(访谈文字由 符 慧 闫萍卉 整理)

“大兵团”作战

推动中国页岩油产业高质量发展



胜利油田

江苏油田

华东油气

石油工程

打造中国陆相页岩油勘探开发样本

唤醒水乡沉睡千万年页岩油

页岩油让苏北老区重现青春

勇担“国字号”工程重任

曾渊辉：
济阳坳陷页岩油取得突破
具有战略接替里程碑意义

□曾渊辉，中国石油大学(北京)教授

页岩油是一种非常规油气。页岩是生油岩，是油气的源头。过去，按照常规石油地质理论，油气生成后通过输导体系运移至圈闭才能成藏，来的是层源岩里被驱赶出的油气资源，需要具备“生、储、盖、圈、运、保”六大地质条件，任何一个条件研究不清，打井都有可能落空。如今页岩油的开发，是油藏在生油母岩中开采油气，资源非常丰富，只要明确页岩油的赋存状态和富集分布规律，就可以保证勘探成功。

相较常规油气资源，页岩油的开发难度大。常规油气的储集空间大多是厘米—微米级别的，而页岩油的储集空间大多为微米—纳米级，就像黄金和芝麻的区别。页岩油藏孔隙度更小，含油饱和度更低，游离态油非常少，更多的是以吸附态出现，这部分油必须通过水平井和分段压裂等技术，形成具有孔喉的油气藏，才能顺利开发。对工程技术提出了更高的要求。

我国页岩油资源丰富，估计，资源量占全国排名第二，仅次于美国、俄罗斯，远高于我国常规油气资源量，被认为是我国最具有优势和战略性的石油接替资源。我国页岩油分布比页岩气更加广泛，目前开发的页岩气主要集中在海相页岩气，主要集中在四川盆地等地，页岩油主要为陆相页岩油，几乎所有的盆地都有分布。

我国页岩油以陆相页岩油为主，与美国的

郭旭升：
持之以恒强化基础研究
推动页岩油高效开发

□郭旭升，中国工程院院士、中国石化股份公司副总地质师、石油勘探开发研究院院长

我国资源禀赋具有“富煤、贫油、少气”的特点，原油对外依存度已超过70%。保障国家能源安全，最重要的任务之一就是确保石油安全。

页岩油是我国石油资源重要的战略接替领域，资源量大大超过常规石油。通过理论认识、开发技术、工程工艺等方面再深化提升，推动页岩油开发成本再降低，将预测资源转化为现实产出，对于降低我国原油对外依存度、保障国民经济健康发展具有重大意义。

中国石化将“保障国家能源安全”列为公司核心职责，高度重视页岩油勘探开发工作。从早期四川盆地罗系，到现在的渤海湾盆地、苏北盆地的古近系，中国石化不断深化地质理论认识和技术创新，推动页岩油勘探开发实现重大突破。胜利油田济阳坳陷页岩油厚度大、分布稳定，初步测算该地区页岩油资源量超过40亿吨，37口井试采获得工业油流，6口井日产超过100吨，2021年首钻上投预测地质储量达4.58亿吨，目前已启动国家陆相页岩油示范区建设。苏北盆地凌湾凹陷古近系5口井获得工业油流，压裂测试最高单井日产66吨，投入预测地质储量3186万吨；近期花2侧1HF井的突破，揭示了高邮、金湖凹陷11亿吨页岩油资源潜力。这些突破对我国东部页岩油勘探开发具有重大战略意义。

在理论认识方面，中国石化提出陆相页岩“三元控油”模式，揭示了中国东部近系控油和热液演化控制下的泥质岩岩相和有机相组合内在联系，明确了成水潮盐页岩在中低成熟阶段可以规模生烃；认识到页岩油在衰竭开采条件下基质原油运移特征，构建了纹层状页岩储层中烃类流动模式，初步揭示了页岩油高产机理。在技术创新方面，中国石化形成页岩油高密度井工厂高效钻井模式、长井段水平井提速做靶、钻测录等一体化井眼轨迹控制技术，大幅提升了优质甜点钻遇率，缩短了钻井周期，降低了钻井成本；针对页岩特点形成的前二重

大事记

□本报记者 符 慧 王维东 于 佳

页岩油，与人们脑海里第一时间想到的“油”完全不同。8月2日，记者来到胜利油田勘探开发研究院科研楼，在大厅里看到，两条各长1米的砂岩、页岩岩芯整齐摆放着。岩芯取自樊页平1井地下3500米处，呈黑黑色，横截面有白色横纹，像千层饼。与常规油气不同，页岩油开采必须直接到这样的生油岩中提取。岩芯旁边，是樊页平1井采出的页岩油。记者拿起瓶子观察，无论是晃荡还是倒置，深黑色油样都纹丝不动。

生物岩成熟度越高，油的流动性越强，品质越好。与具有两亿三千万年历史的北美海相页岩油相比，我国济阳坳陷陆相页岩油比较“年轻”，只有几千万年，埋藏深、成熟度(Ro)低。按照国际标准，成熟度要大于0.9%才适合商业化开发，而济阳坳陷页岩油成熟度低，页岩油黏稠到在全球都没有开发先例。

我国页岩油藏地质条件比较复杂。北美页岩油岩层剖面图上百千米范围内地层分布稳定，我国断陷盆地面积积相对小，地层横向变化快，开发难度大。正因为陆相页岩油与众不同，在21世纪初，北美实现页岩油气大突破后，我国“有没有页岩油”“有多少可动用的页岩油”仍然存疑。

“油气就在地质家的脑海里，你想都不敢想，还敢去找吗？”集团公司高级专家王永诗接受记者采访时说。

从“十二五”末起，胜利油田先后开展了“973”、国家专项及各层级页岩油攻关课题40余项，全力攻关陆相断陷盆地页岩油。

2009年，胜利油田在渤南洼陷钻了4口井，取出了千万年前的岩芯，有目的地开始探索页岩油。基础研究“冷板凳”，他们一坐就是近10年，初步掌握了陆相页岩油气形成和富集规律。

2019年，他们开始了第二轮探索。当年打下的义页平1井峰值日产油93吨，证实了他们的猜想，实现了预期目标。

大事记

□本报记者 刘继堂 通讯员 袁国兴

8月19日，苏北水乡持续“烧烤”模式。上午10时，江苏油田采油—厂花庄油区，气温已超40摄氏度，高峰爬上“小电驴”巡井。说到花2侧1HF井，他的兴奋之情溢于言表：“江苏油田单井平均日产油1吨多，而这口页岩油井日产油高达40多吨。”

高峰是采油—厂花庄采油班站员工，今年初主动要求来这里管理页岩油井。他说：“第一次看到沉睡地底下千万年的页岩油喷出地面时，十分激动。”

井场看不到一口磕头机，“这就是页岩油与常规石油生产的不同。”花庄采油班班经理沈继军说，页岩油井压力较高，石油在高压下自动喷出，无须磕头机举升。

江苏油田主力探区苏北盆地是个小盆地。水乡石油人经过47年努力，形成年产百万吨生产能力，累计生产原油6000多万吨。近几年，常规油气产量下滑，生产经营陷入低谷。无论从保障国家能源安全出发，还是从自身持续发展出发，江苏油田只能背水一战，挑战页岩油。

“页岩油勘探，一年实现突破，三年上规模，五年实现资源接替。这是江苏油田发展战略，我们充满信心。”江苏油田负责人方志雄说。

科研人员对76口油井的1840余米岩芯，完成地化、储层、岩矿等各类试验分析测试16000多项次，初步摸清了苏北盆地页岩油分布情况。他们惊喜地发现，页岩油资源量在11亿吨以上，比常规油储量高一倍多。

页岩油勘探需要解决两个问题：一是工艺技术，二是勘探成本。

江苏油田页岩油井深五六千米，水平段长2000米左右，压裂时井筒最高压力110兆帕，是常规油气藏压力的两倍；国内钻井轨迹跟踪、固井质量要求很高，“国内页岩油资源很丰富，之所以没有规模开发，主要原因就是缺乏行之有效的开发技术。”集团公司高级专家王蒙洪说。

江苏油田迎难而上，开启了页岩油勘探的破冰之旅。去年5月28日，第一口页岩油井花页1HF井开钻，直到2022年2月7日喷出高产工业油流。江苏油田花庄页岩油先导示范区在漫天飞雪中揭牌。

瑞雪兆丰年。随着花页1HF井放喷，花2侧1HF、花页3HF、坤页1HF、花页5HF井正紧张压裂。大型压裂机组摆满井场，记者来到这里时，烈日当头，一名起吊机手正在吊起压裂砂，向混砂车投放，岗位人员各司其职。滚滚热浪中，记者看不清这些作业者的脸，只看到汗水湿透他们的衣衫。

借调2017年国家重大科研专项课题“凌湾—海安凹陷陆相页岩油资源潜力与地质评价研究”，科研人员深化基础研究，查阅文献近千篇，复查百余口老井资料，梳理分析近万项数据指标，对苏北陆相页岩油成藏的独立思考和认识逐渐清晰。

华东油气勘探开发研究院副院长马晓东说：“经过3年潜心研究，以‘有利岩相、储集系统、保存条件、体积压裂’为要素的‘四性耦合’评价模型浮出水面，苏北页岩油迎来春天。”

2020年初，在一轮轮的论证分析后，苏北页岩油第一口风险探井——沙垛1井得以实施。同年11月19日，沙垛1井二段试获高产油流，揭开了苏北盆地页岩油藏的神秘面纱。

沙垛1井的突破坚定了科研人员

大事记

□本报记者 沈志军 通讯员 花彩霞

8月的江淮大地犹如烤箱，似乎只要星星之火就能把空气点燃。15日，他们攻关深层页岩油钻井、压裂工程体系，顺利取芯401米。这401米，浓缩着千万年的沉积历史，承载着两代石油人的心血和希望。

凌页1HF井并于2021年11月17日放喷测试，最高日产油66.2吨，截至2022年8月18日，连续自喷275天，累计产油超1.3万吨，苏北盆地又一口超万吨页岩油井诞生。

与凌页1HF井同期部署的坤页3-7HF井并于2021年10月23日放喷，测试日产油36.44吨，且持续稳定上升。

沙垛1、凌页1HF等井的持续突破展现了苏北盆地陆相页岩油良好的勘探开发前景，初步评价华东油气矿权区内页岩油有利面积420平方千米、资源量3.5亿吨，开启了苏北老区新的资源战略接替阵地，对华东油气苏北油区可持续发展具有里程碑意义。

2022年5月24日，凌页1试验井组方案获得总部批准，凌湾凹陷页岩油步入生产评价阶段，初步确定层系接替的立体开发思路。2022年优先实施4口井，为页岩油示范区申请做好了准备。

“苏北盆地页岩油勘探突破，完善了陆相页岩油的评价标准，提炼了中国东部小型陆相断陷盆地页岩油增储建产的信心，具有重要的理论和现实意义。”余文渊满怀信心地说。